Campus de São Carlos

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A GERÊNCIA DE
PAVIMENTOS URBANOS EM NÍVEL DE REDE**

SANDRA APARECIDA MARGARIDO BERTOLLO

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ LEOMAR FERNANDES JUNIOR

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

CONSIDERAÇÕES SOBRE A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS EM NÍVEL DE REDE

SANDRA AP. MARGARIDO BERTOLLO

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de Mestre
em Transportes.

DEDALUS - Acervo - EESC

31100042079

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior

São Carlos

1997

Class.	TESE
Cutl.	0783
Tombo	T 117/97

Área - Transportes

SE 934238

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

B546c Bertollo, Sandra Ap. Margarido
Considerações sobre a gerência de pavimentos
urbanos em nível de rede / Sandra Ap. Margarido
Bertollo. -- São Carlos, 1997.

Dissertação (Mestrado). -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1997.

Área: Transportes

Orientador: Prof. Dr. José Leomar Fernandes
Júnior

1. Pavimento urbano. 2. Sistema de gerência.
3. Manutenção. 4. Defeitos. I. Título

Dedicatória

Ao meu marido, Julio Cesar Bertollo

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior, orientador deste trabalho, pela amizade e especialmente pela oportunidade de trabalharmos juntos;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa de estudo concedida;

Ao meu marido Julio Cesar Bertollo, pelo carinho, pela paciência e pelo apoio nos momentos mais difíceis;

À Nair Cristina Margarido Brondino, pelas sugestões e principalmente pela amizade;

Ao Luiz Zerbini, Eunice Satie Shoji e José Francisco G. Pantigoso, pelo auxílio na coleta dos dados, contribuindo efetivamente para a realização deste trabalho;

À Sandra Oda, pelas sugestões e pelo auxílio na coleta de dados e na revisão do trabalho;

Aos alunos do Departamento de Transportes: Marony Costa Martins, José Thomaz Mendes Filho, Suelly Helena de A. Barroso, Claudia Scoton Antonio, Marcelo Takeda, Sandra F. Rodgher, Flávio José C. Cunto, Ricardo Almeida de Melo e Maurício, pela realização das avaliações subjetivas do pavimento;

Ao Paulinho, técnico do Laboratório de Topografia, pelo auxílio na coleta dos dados;

Aos professores do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da USP pela colaboração;

Aos funcionários do Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, em especial à Heloisa H. M. Belo, ao Sr. Ângelo Leoni e ao Sr. Vicente Daló;

A todos os amigos com quem tenho convivido durante esses anos, em especial à Sandra Fabiana Rodgher, à Andrea Arantes Severi, à Cynthia Perpétua Lotti, ao Ely Emerson Santos da Costa, ao Artur Pantoja Marques, ao Alexandre Cagnani Foretti, ao Attus Pereira Moreira, ao Cássio A. Teoro do Carmo, ao Delfos Enrique Lopez Reyes e à Vânia Maria Pessôa Pampolha.

Resumo

Este trabalho apresenta os conceitos básicos dos sistemas de gerência de pavimentos urbanos em nível de rede. Discute os dados necessários para o inventário da malha pavimentada urbana e as formas de quantificação da condição do pavimento, particularmente o uso de índices combinados, como por exemplo o Índice de Condição dos Pavimentos (ICP), e sua utilização, em nível de rede, para a priorização de trechos, seleção de estratégias de manutenção e reabilitação e para a previsão orçamentária e alocação de recursos. Realiza um estudo piloto com treze seções de pavimentos da malha urbana da cidade de São Carlos - SP, a partir do qual são avaliados o uso de técnicas estocásticas para determinação de modelos de desempenho e as análises de priorização.

Palavras-chave: pavimento urbano; sistema de gerência; manutenção; defeitos.

Abstract

This work presents the basic concepts of urban pavement management systems at the network level. It is discussed the inventory data needs and the pavement condition survey, particularly the combined index (like the Pavement Condition Index, PCI), and its use in priority programming, selection of maintenance and rehabilitation activities, and funding assessment. It is performed a pilot study with 13 pavement sections at the city of São Carlos, SP, which is used for the evaluation of prioritization analysis and performance models based on stochastic techniques.

Key-words: urban pavement; management system; maintenance; distresses.

Lista de Figuras

Figura nº	Página
2.1 - Fluxograma dos componentes de um sistema de gerência de pavimentos (adaptada de HAAS et al., 1994).....	5
2.2 - Níveis de tomada de decisão em um sistema de gerência de pavimentos (HAAS et al., 1994)	7
2.3 - Etapas do desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos para cidades de pequeno e médio porte (adaptada de MAPC, 1986)	8
2.4 - Formulário para coleta de dados do inventário.	13
2.5 - Conceito de serventia-desempenho.....	15
2.6 - Ficha para avaliação da serventia.	16
2.7 - Cálculo do Índice de Prioridade (IP) em função da condição do pavimento, da idade desde a última intervenção, do tráfego e da classe funcional (CHEN et al., 1993).....	24
2.8 - Exemplo de inequações utilizadas para priorização das seções (CHEN et al., 1993).....	24
2.9 - Fluxograma do programa de gerência de pavimentos urbanos URMS (adaptada de CHEN et al., 1994)	27
2.10 - Exemplo de curva de previsão de desempenho	29
2.11 - Representação esquemática de estado, vetor estado e ciclo de solicitação (BUTT et al., 1994).....	31
2.12 - Exemplos de interferências da infra-estrutura urbana na via pública (adaptada de AL-SWAILMI, 1994)	39
2.13 - Conceito de sistema de gerência global da infra-estrutura urbana (adaptada de ZHANG et al., 1994)	40

3.1 - Exemplo de inter-relação entre desempenho dos pavimentos, estratégia de intervenção, data da manutenção e custos (FHWA, 1989).	42
3.2 - Relação das estratégias de manutenção e reabilitação com as outras etapas de um sistema de gerência de pavimentos (adaptada de MAPC, 1986).	43
3.3 - ARAN - Analisador automático da superfície do pavimento (HAAS et al., 1994).	49
3.4 - Planilhas para levantamento de campo	54
3.5 - Correspondência entre nível de agregação das informações sobre a condição das vias municipais e o nível de decisão do SGPU (adaptada de HAAS et al., 1994).	58
3.6 - Passos para o cálculo do ICP (SHAHIN & KOHN, 1979).	60
3.7 - Planilha para avaliação da condição dos pavimentos (adaptada de INSTITUTO DO ASFALTO, 1981)	62
3.8 - Estratégia de manutenção e reabilitação mais indicada com base no valor do índice de condição dos pavimentos (INSTITUTO DO ASFALTO, 1989).	76
3.9 - Exemplo de “árvore de decisão” para seleção de atividades de manutenção e reabilitação (CHEN et al., 1993)	77
3.10 - Exemplo de “árvore de decisão” para seleção de métodos de reparos para cada tipo de deterioração (CHEN et al., 1993).	78
4.1 - Mapa digitalizado do sistema viário urbano de São Carlos (SILVA et al., 1996)	79
4.2 - Ficha para avaliação do ICP	86
4.3 - Discrepância entre avaliações individuais.	88
4.4 - Exemplo de formulário utilizado para o mapeamento dos defeitos (SHRP, 1993b)	90

4.5 - Simbologia para representação dos defeitos (adaptada de SHRP, 1993b)	91
4.6 - Exemplo de mapeamento de defeitos: Seção 2	92
4.7 - Questionário simplificado para avaliação da condição atual, previsão para o próximo ano e conhecimento das práticas de manutenção e reabilitação adotadas pelas prefeituras.....	100
4.8 - Lançamento de mistura asfáltica na panela.....	117
4.9 - Compactação com os pneus do caminhão transportador da mistura asfáltica	117
4.10 - Procedimentos para execução de um remendo permanente (SHRP, 1993a)	118
4.11 - Exemplo de gráfico para comparação do desempenho de diferentes formas de deterioração (SHRP, 1993a).....	123

Lista de Tabelas

Tabela nº	Página
3.1 - Causas dos principais defeitos dos pavimentos asfálticos (adaptada de AASHTO, 1986)	46
3.2 - Identificação de defeitos nos pavimentos (SHRP, 1993b).....	51
3.3 - Correspondência entre ICP e a condição do pavimento	61
3.4 - Valores limites de IGG.....	64
3.5 - Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (SHRP, 1993a).....	72
3.6 - Detalhe da estratégia de manutenção e reabilitação mais indicada com base no valor do índice de condição dos pavimentos (adaptada de INSTITUTO DO ASFALTO, 1989).....	76
4.1 - Identificação, dimensões e localização das seções analisadas	83
4.2 - Classificação funcional e histórico das intervenções.....	84
4.3 - Volume diário médio por tipo de veículo e porcentagem de caminhões e ônibus.....	85
4.4 - Avaliação subjetiva da superfície (ICP).....	87
4.5 - Quantitativo dos defeitos no pavimento.....	93
4.6 - Quantitativo dos defeitos no pavimento (% da área afetada).....	94
4.7 - Fatores de ponderação sugeridos por CHEN et al. (1993), KHER & EL DIMEERY (1994) e ajustados a partir da avaliação subjetiva.....	96
4.8 - Valores do Índice de Condição do Pavimento (ICP) para diferentes fatores de ponderação	97
4.9 - Avaliação da condição atual e previsão para o próximo ano	103
4.10 - Condição atual e previsão para o ano seguinte (percentual de respostas).....	104

4.11 - Cálculo do Índice de Prioridade (IP) segundo modelo proposto por TAVAKOLI et al. (1992).....	107
4.12 - Resultados da análise de priorização segundo modelo proposto por TAVAKOLI et al. (1992)	108
4.13 - Priorização das seções conforme modelo proposto por TAVAKOLI et al. (1992).....	109
4.14 - Cálculo do Índice de Prioridade (IP) segundo modelo proposto por CHEN et al. (1993).....	110
4.15 - Resultados da análise de priorização segundo modelo proposto por CHEN et al. (1993), considerando-se pesos maiores para os fatores "idade" e "condição do pavimento"	111
4.16 - Priorização das seções conforme modelo proposto por CHEN et al. (1993), considerando-se pesos maiores para os fatores "idade" e "condição do pavimento"	112
4.17 - Resultados da análise de priorização segundo modelo proposto por CHEN et al. (1993), considerando-se pesos iguais para todos os fatores (idade, ICP, tráfego e classe funcional).....	113
4.18 - Priorização das seções conforme modelo proposto por CHEN et al. (1993), considerando-se pesos iguais para todos os fatores (idade, ICP, tráfego e classe funcional).....	114

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABPv	- Associação Brasileira de Pavimentação
ASPLA	- Assessoria de Planejamento da PMSC
DNER	- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
HDM	- <i>Highway Design and Maintenance Standards Model</i>
ICP	- Índice de Condição do Pavimento
IP	- Índice de Prioridade
M&R	- Manutenção e Reabilitação
PMSC	- Prefeitura Municipal de São Carlos
SAAE	- Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SGPU	- Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos
SHRP	- <i>Strategic Highway Research Program</i>
SIG	- Sistemas de Informação Geográfica
TIGER	- <i>Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing</i>
URMS	- <i>Urban Roadway Management System</i>
VDM	- Volume Diário Médio
VSA	- Valor de Serventia Atual

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
 1 - INTRODUÇÃO	 1
 2- SISTEMAS DE GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS EM NÍVEL DE REDE	 5
2.1 - Introdução.....	5
2.2 - Dados do Inventário	10
2.2.1 - Definição dos Limites da Seção	10
2.2.2 - Informações Essenciais.....	11
2.2.3 - Coleta de Dados.....	14
2.3 - Avaliação da Condição dos Pavimentos	15
2.3.1 - Avaliação Subjetiva da Superfície de Rolamento	15
2.3.2 - Avaliação Objetiva: Levantamento de Campo.....	18
2.4 - Priorização.....	22
2.5 - Exemplos de Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos.....	25
2.6 - Perspectivas Futuras dos Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos.....	27
2.6.1 - Introdução	28

2.6.2 - Modelos de Previsão de Markov	29
2.6.2.1 - Comportamento Probabilístico dos Pavimentos.....	29
2.6.2.2 - Processo de Markov.....	30
2.6.3 - Os Sistemas de Informação Geográfica.....	35
2.6.3.1 - Introdução	35
2.6.3.2 - Desenvolvimento da Base de Informações Geográficas	36
2.6.3.3 - Os Sistemas de Informação Geográfica e a Gerência de Pavimentos	38
2.6.3.4 - Integração entre Sistemas de Gerência de Infra-estrutura Urbana	39
3 - AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DOS PAVIMENTOS: ÍNDICES COMBINADOS E ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO	41
3.1 - Introdução.....	41
3.2 - Avaliação da Condição dos Pavimentos	44
3.2.1 - Introdução	44
3.2.2 - Métodos de Levantamento de Defeitos no Campo	46
3.2.3 - Equipamentos para Avaliação de Defeitos	47
3.2.4 - Manuais para Identificação dos Defeitos.....	49
3.3 - Índices de Defeitos Combinados	57
3.3.1 - Introdução	57
3.3.2 - Índice de Condição do Pavimento (ICP) Desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos.....	58
3.3.3 - Adaptação de um Índice de Condição do Pavimento (ICP) pelo Instituto do Asfalto	61
3.3.4 - Índice de Gravidade Global (IGG).....	63
3.4 - Manutenção e Reabilitação dos Pavimentos	65
3.4.1 - Introdução	65
3.4.2 - Atividades de Manutenção.....	67
3.4.3 - Atividades de Reabilitação.....	69
3.4.4 - Definição das Estratégias de Manutenção e Reabilitação	71

4 - ESTUDO PILOTO.....	79
4.1 - Informações Gerais da Rede Viária de São Carlos.....	80
4.2 - Inventário das Seções Seleccionadas para o Estudo Piloto	82
4.3 - Avaliação dos Segmentos do Estudo Piloto	86
4.3.1 - Avaliação Subjetiva da Superfície de Rolamento	86
4.3.2 - Avaliação Objetiva da Superfície do Pavimento.....	88
4.4 - Determinação do Índice de Condição dos Pavimentos.....	95
4.5 - Previsão de Desempenho: Determinação da Condição Futura a partir da Condição Atual.....	98
4.6 - Priorização	106
4.7 - Execução de Remendos.....	115
4.7.1 - Introdução	115
4.7.2 - Valas Escavadas por Concessionárias de Serviços Públicos	120
4.7.3 - Custos dos Remendos	121
4.7.4 - Avaliação do Desempenho dos Remendos	123
4.8 - Segurança.....	124
 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	125
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
 ANEXO A - QUESTIONÁRIO ENVIADO À PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS.....	136
 ANEXO B - MAPEAMENTO DOS DEFEITOS NAS SEÇÕES DO ESTUDO PILOTO	139
 ANEXO C - FOTOS DE DEFEITOS IDENTIFICADOS NAS SEÇÕES ANALISADAS NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS.....	182

1 - Introdução

Os recursos para manutenção e reabilitação de pavimentos quase sempre são inferiores às necessidades. Devem, portanto, ser utilizados da maneira mais eficiente possível. Um sistema de gerência de pavimentos (SGP) é a ferramenta que pode ajudar os organismos rodoviários na melhor utilização dos recursos.

Conforme apresentado por HAAS, HUDSON e ZANIEWSKI (1994), um *sistema de gerência de pavimentos* consiste de um elenco de atividades coordenadas, relacionadas com o planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos, cujo objetivo principal é utilizar informações confiáveis e critérios de decisão para produzir um programa de construção, manutenção e reabilitação de pavimentos que dê o máximo retorno possível para os recursos disponíveis. E, para atingir seu objetivo, um sistema de gerência de pavimentos deve ser capaz de comparar, priorizar e alocar os recursos de seu programa de manutenção e reabilitação entre todas as seções da rede viária.

Toda cidade tem algum método de gerência de pavimentos, pois desenvolvem programas de construção e conservação de pavimentos e selecionam, com base na experiência, ruas para as atividades de manutenção e reabilitação. Esses métodos variam de acordo com o tamanho da cidade, com a experiência dos

profissionais envolvidos, com a extensão da malha viária, com o orçamento disponível, com o volume de tráfego e com o meio ambiente.

No Brasil, os administradores públicos têm enfrentado inúmeros problemas na difícil tarefa de gerenciar a infra-estrutura municipal em razão da crônica falta de recursos em que vive a grande maioria das cidades brasileiras. Particularmente, a ausência de uma política para a gerência formal do sistema viário (do qual os pavimentos representam parcela significativa) tem contribuído para o desperdício de recursos financeiros, de equipamentos e de mão-de-obra, pois mesmo quando as vias públicas não constituem prioridade para os administradores, ainda assim têm que alocar recursos a esse setor.

Nas cidades brasileiras, particularmente nas de pequeno e médio porte, não tem sido dada importância às fases de planejamento, dimensionamento e execução das estruturas de pavimento, fazendo com que grande parte das vias apresentem um elevado e precoce grau de deterioração, com redução de sua vida em serviço e aumento dos custos de manutenção e reabilitação.

Quanto às atividades de manutenção e reabilitação, têm sido realizadas eventualmente e, na maioria das vezes, à margem das recomendações técnicas. No quadro atual, decorrente da ausência de investimentos técnico-gerenciais, não existem diagnósticos que apresentem de forma clara a condição dos pavimentos, as equipes operacionais são em geral mal preparadas e desmotivadas, as equipes técnicas são reduzidas e com baixo nível de especialização e a gerência é feita de forma aleatória, com o sentido de resolver as necessidades mais extremas de reparo, sem nenhum planejamento prévio.

Como agravantes para o problema da manutenção dos pavimentos urbanos, têm-se a carência de dados históricos e a falta de trabalho integrado entre as diversas áreas do serviço público municipal que interferem no espaço da via pública.

A busca de informações é sempre um trabalho difícil, principalmente considerando-se a ausência de banco de dados e a falta de sistematização da coleta de informações básicas a respeito da malha viária (dimensões, tipologias de pavimento, histórico das intervenções nos pavimentos, hierarquia viária, trajeto das linhas de ônibus, contagem de tráfego, classificação por tipo de veículo e dados de uso do solo).

Apesar do quadro geral apresentado acima, no âmbito das Reuniões de Pavimentação Urbana promovidas pela Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv) têm sido divulgadas algumas tentativas recentes de sistematização de procedimentos de gerência do sistema viário, que refletem o início de uma mudança de postura de administradores públicos municipais diante da questão da gerência de pavimentos urbanos, como por exemplo os trabalhos de VILLIBOR et al. (1993) em Araraquara - SP, NEVES et al. (1995) em Belo Horizonte - MG e SILVA, R.P. et al. (1995) em Santos - SP.

Este trabalho procura contribuir para a mudança da situação atual, apresentando os conceitos básicos dos sistemas de gerência de pavimentos urbanos e descrevendo procedimentos simples, passíveis de serem postos em prática na grande maioria das cidades de pequeno e médio porte, mesmo considerando-se as dificuldades econômicas, a carência de obras de infraestrutura e os problemas sociais com que se deparam as administrações municipais.

Apresenta as particularidades dos sistemas de gerência de pavimentos urbanos e os dados necessários para o inventário e discute as formas de quantificação da condição do pavimento, particularmente o uso de índices combinados, como por exemplo o Índice de Condição dos Pavimentos (ICP), e sua utilização, em nível de rede, para a priorização e seleção de trechos e de estratégias de manutenção e reabilitação e para a previsão orçamentária e alocação de recursos. Realiza um estudo piloto com treze seções de pavimentos da malha urbana da cidade de São Carlos - SP, a partir do qual são feitas análises mais detalhadas que dão suporte às conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

---

2 - Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede

2.1 - Introdução

Um sistema consiste de um conjunto de componentes que interagem entre si e são afetados por fatores externos. Um sistema de gerência de pavimentos, particularmente, apresenta como componentes principais o planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa, conforme apresentado na Figura 2.1, e tem como fatores externos as dotações orçamentárias e as políticas administrativas.

FIGURA 2.1 - Fluxograma dos componentes de um sistema de gerência de pavimentos (adaptada de HAAS et al., 1994).

Um sistema de gerência de pavimentos tem por objetivo a obtenção do melhor retorno possível para os recursos investidos, provendo pavimentos seguros, confortáveis e econômicos aos usuários. Possibilita, simultaneamente, a melhoria das condições dos pavimentos e a redução dos custos de manutenção e reabilitação e de operação dos veículos.

Um sistema de gerência de pavimentos pode-se apresentar sob diferentes formas. Para cidades que não possuem programas sistematizados de manutenção e contam com pouca ou nenhuma experiência em gerência de pavimentos, a necessidade é de um sistema composto por métodos simples de *priorização* de alternativas e documentação e resumo das necessidades em nível de rede. Para organismos rodoviários com um efetivo programa de manutenção e reabilitação, a necessidade é de um sistema mais sofisticado, que visa a *otimização* em nível de projeto e que requer uma maior quantidade de dados e é composto por modelos mais complexos.

Convencionalmente, o processo de tomada de decisão em um sistema de gerência de pavimentos tem sido dividido em dois níveis: *rede* e *projeto*. O primeiro inclui as atividades de planejamento, programação e orçamento, enquanto que as decisões em nível de projeto envolvem as atividades de dimensionamento, construção e manutenção.

As decisões em nível de rede podem, ainda, ser divididas em:

- nível de seleção de projeto: processo de priorização, envolvendo um ou mais grupos de projetos;
- nível de programa: processo orçamentário global, envolvendo a alocação de recursos para toda a rede.

A Figura 2.2 mostra os níveis de decisão em um sistema de gerência de pavimentos de acordo com o detalhe de informação e a complexidade do modelo. A tomada de decisão em nível de projeto lida com questões técnicas e como tal, requer informações detalhadas de seções específicas do pavimento.

FIGURA 2.2 - Níveis de tomada de decisão em um sistema de gerência de pavimentos (HAAS et al., 1994).

Em nível de seleção de projeto, dois modelos podem ser utilizados:

- modelos de priorização: selecionam projetos para manutenção mediante um critério classificatório, baseado, dentre outros fatores, em um índice da condição de cada segmento;
- modelos de otimização: maximizam (ou minimizam) uma função objetivo, geralmente o custo total, submetida a uma série de restrições.

A maioria dos sistemas de alocação de recursos incluem dois submodelos: o primeiro estima o desempenho futuro do pavimento e o segundo aloca os recursos para as atividades futuras de manutenção e reabilitação baseados nos níveis estimados de desempenho (*modelos de desempenho e custos*).

A sofisticação na metodologia de alocação de recursos incorporada ao sistema de gerência de pavimentos depende das necessidades de cada agência, podendo variar de simples árvores de decisão até programas matemáticos estocásticos ou determinísticos em grande escala.

As etapas do desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos menos sofisticado, apresentadas na Figura 2.3, envolvem:

- inventário: definição dos segmentos na malha viária;
- levantamento da condição dos pavimentos;
- hierarquização dos projetos;
- programação das atividades de manutenção e reabilitação (M & R), com base na disponibilidade orçamentária;
- implementação do sistema de gerência e alimentação do banco de dados.

FIGURA 2.3 - Etapas do desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos para cidades de pequeno e médio porte (adaptada de MAPC, 1986).

Os sistemas de gerência de pavimentos urbanos (SGPU), conforme apresentado e discutido ao longo deste trabalho, apresentam muitas características distintas das que são apresentadas pelos sistemas de gerência de pavimentos tradicionalmente utilizados pelos organismos rodoviários federais e estaduais. Embora os princípios da gerência de pavimentos sejam os mesmos para todos os organismos rodoviários, os sistemas de gerência de pavimentos urbanos utilizam, geralmente, a técnica de *priorização* para a seleção de projetos e não a *otimização* (utilizada, por exemplo, no programa de gerência de pavimentos HDM-III) e são menos sofisticados, o que facilita o entendimento e utilização por parte dos engenheiros municipais.

Um problema particular dos pavimentos urbanos são as interferências das redes de infra-estrutura urbana, que trazem graves conseqüências para a manutenção das vias pavimentadas. O ideal seria que essas redes fossem construídas antes da pavimentação e, no caso das ampliações, que estas fossem feitas previamente às intervenções nos pavimentos. Outra alternativa, nem sempre viável, seria localizar as galerias e redes nas calçadas, prática adotada no município de São Gonçalo - RJ (MELO et al., 1993). De qualquer forma, a solução definitiva deste problema passa pela definição das responsabilidades das concessionárias e pela efetiva fiscalização por parte das prefeituras.

A implementação de um sistema de gerência de pavimentos depende, principalmente, de três fatores: dados confiáveis, modelos realísticos para o processamento dos dados e programas amigáveis para a organização dos dados e apresentação dos resultados. Os sistemas de gerência de pavimentos urbanos devem utilizar apenas os dados realmente necessários, permitir a adaptação dos modelos de desempenho às formas de deterioração que efetivamente condicionam as atividades de manutenção e reabilitação e ser amigável aos usuários, inclusive com utilização de interface gráfica.

2.2 - Dados do Inventário

O inventário é o processo de coleta e organização dos dados essenciais para a implementação de um sistema de gerência de pavimentos. Dependendo das necessidades de cada agência, o nível de detalhamento contido no inventário pode variar. Entretanto, todos os sistemas de gerência de pavimentos requerem ao menos um inventário rudimentar da rede pavimentada, pois é impossível planejar adequadamente as atividades de manutenção e reabilitação sem conhecer o tamanho e as características da rede.

Os dados contidos no inventário fornecem ao gerente um relato da extensão da rede, tipos de pavimento, geometria, tráfego, condições ambientais (temperatura e teor de umidade) etc. Essencialmente, o inventário deve incorporar informações sobre o que existe agora, somado às informações anteriores tais como construções e atividades de manutenção executadas.

O desenvolvimento de um inventário da rede pavimentada é uma tarefa que poderá consumir um longo período de tempo. Os passos básicos desse processo incluem a definição das seções de pavimento, envolvendo descrição e referência, a seleção das variáveis ou dados que deverão constar do inventário e a reunião e arquivamento das informações em um banco de dados.

2.2.1 - Definição dos Limites da Seção

O primeiro passo de um inventário consiste na divisão da rede viária em segmentos ou seções. O comprimento da seção determina o volume de dados a ser coletado. Normalmente as seções são definidas em função dos fatores que influenciam a deterioração dos pavimentos, tais como: mudança no número de

faixas de tráfego; mudança do tipo de pavimento; mudança abrupta de volume de tráfego; mudança da estrutura do pavimento (espessuras, materiais); mudança de características do subleito.

No caso dos pavimentos urbanos, a malha viária pode ser facilmente dividida em seções representadas por quarteirões. As características citadas anteriormente irão determinar quantos quarteirões serão incluídos em cada seção. Porém, é importante determinar a maneira na qual a área contida na interseção entre quarteirões será considerada, pois estas áreas podem representar uma parcela significativa da área total pavimentada.

As áreas contidas nas interseções devem ser cuidadosamente definidas para se evitar a duplicação. Uma alternativa seria considerar esta área como uma seção separada, o que eliminaria a dúvida sobre a qual rua deveria pertencer a interseção. Informações sobre hierarquia viária também podem ser usadas para definir a rua que contém a interseção. Por exemplo, uma via arterial incluiria todas as interseções ao longo de sua extensão, uma via coletora excluiria todas as interseções arteriais e uma via local excluiria as interseções arteriais e coletoras.

2.2.2 - Informações Essenciais

Ao selecionar as variáveis que irão constar do inventário e o nível de detalhamento desejado, deve-se levar em consideração os custos de coleta e manipulação dos dados. Algumas grandes agências utilizam inventários extensos e detalhados enquanto outras operam com um número mínimo de informações.

No caso das cidades brasileiras de pequeno e médio porte, o inventário deve ser tão simples quanto possível, facilitando a coleta das informações necessárias. O inventário da rede pavimentada urbana deve conter os seguintes dados, conforme apresentado na Figura 2.4, utilizada neste trabalho:

- descrição e identificação das seções: código (classe funcional e administrativa, número e quadra), nome da rua, nome dos marcos de início e fim da seção, tipo de pavimento;
- características geométricas: comprimento, largura, número de faixas, número de recapeamentos, espessuras e materiais das camadas;
- histórico: ano de construção, ano da última atividade de manutenção e reabilitação, data e tipo das sucessivas atividades de manutenção e reabilitação e custos associados;
- tráfego: capacidade da via, tráfego diário médio (VDM), taxa de crescimento, porcentagem de caminhões.

Os dados do tráfego são necessários para a previsão do desempenho e atribuição de prioridades durante a seleção de projetos de manutenção e reabilitação. Para os pavimentos rodoviários é essencial o conhecimento de alguns aspectos adicionais, como por exemplo a carga por eixo, a composição detalhada da frota e a velocidade média dos veículos. Já a caracterização das vias urbanas, quanto ao tráfego, pode ser baseada apenas na classificação funcional: *vias arteriais* são aquelas de grande movimento, que distribuem o tráfego, possuindo intenso tráfego de ônibus; *vias coletoras* são vias predominantemente alimentadoras destes corredores, promovendo acesso às zonas residenciais; *vias locais* são aquelas que atendem aos bairros.

A característica operacional da via e sua posição na hierarquia viária é um fator importante a ser considerado na avaliação do desempenho dos pavimentos ao longo do tempo. A importância funcional da via serve como um indicador do nível de desempenho esperado por seu pavimento, bem como do nível de carregamento esperado produzido por seu tráfego.

INVENTÁRIO DA REDE PAVIMENTADA URBANA - SGPU	
TÉCNICOS: _____	DATA: _____
IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO	
Código (classe, número e quadra): _____	
Nome da Rua: _____	
Marco de Início da Seção: _____	
Marco de Fim da Seção: _____	
Tipo de Pavimento (Flexível ou Rígido): _____	
GEOMETRIA DA SEÇÃO	
Comprimento (m): _____	
Largura Total (m): _____	
Número de Faixas: _____	
Espessura e Materiais das Camadas: _____	
HISTÓRICO DA SEÇÃO	
Ano de Construção: _____	
Ano da Última Atividade de Reabilitação: _____	
TRÁFEGO	
Tráfego Diário Médio: _____	
Taxa de Crescimento do Tráfego (%): _____	
Porcentagem de Caminhões: _____	

FIGURA 2.4 - Formulário para coleta de dados do inventário.

2.2.3 - Coleta dos Dados

Um dos problemas mais frequentes encontrados na implementação de um sistema de gerência de pavimentos é a falta de um completo inventário viário. O tempo gasto na verificação das informações tais como nome de rua, comprimento, largura e localização não é pequeno, embora o trabalho de coleta das informações contidas no inventário seja necessário somente quando da implementação do sistema de gerência de pavimentos. Nos anos seguintes serão coletadas apenas as informações referentes à deterioração da superfície.

O sucesso de um inventário depende não apenas dos dados coletados mas também do arquivamento e recuperação desses dados. Os formulários para coleta de dados devem ser compreensíveis, fáceis de completar e devem possibilitar o registro de todas as informações necessárias.

Geralmente, a maioria das informações requeridas no inventário da rede pavimentada urbana não está disponível devido a inexistência de registros históricos nas prefeituras. Nesses casos, deve-se contar com a memória dos funcionários mais antigos para se obter uma estimativa das datas de construção e manutenção dos pavimentos.

Na inexistência ou impossibilidade de obtenção dos históricos de construção, podem ser executados furos de sondagem para que sejam realizadas medidas das espessuras das camadas do pavimento e descrição expedita dos materiais constituintes. Deve-se destacar que a importância do conhecimento dos materiais constituintes das camadas e respectivas espessuras é maior para a tomada de decisão em nível de projeto, não analisada em detalhes neste trabalho.

2.3 - Avaliação da Condição dos Pavimentos

2.3.1 - Avaliação Subjetiva da Superfície de Rolamento

As avaliações subjetivas definem o estado de deterioração do pavimento utilizando-se do conceito de *serventia*, apresentado por CAREY & IRICK (1960) quando do *AASHO Road Test*.

A *serventia* é definida como a habilidade de uma seção de pavimento, à época da observação, para servir ao tráfego de automóveis e caminhões com elevados volumes e altas velocidades (AASHTO, 1972). A capacidade de um pavimento servir satisfatoriamente ao tráfego durante um período de tempo é o seu desempenho, que pode ser interpretado como a variação da *serventia* com o tempo e/ou tráfego (Figura 2.5).

FIGURA 2.5 - Conceito de serventia-desempenho.

CAREY & IRICK (1960), quando do desenvolvimento do conceito de *serventia*, consideraram as seguintes hipóteses:

- o propósito principal de uma rodovia é servir ao público que viaja sobre ela;

- a opinião dos usuários é subjetiva;
- existem algumas características das rodovias que podem ser medidas objetivamente e que podem ser relacionadas com a opinião dos usuários;
- a serventia de uma seção de rodovia pode ser expressa através de avaliações realizadas pelos usuários;
- o desempenho de um pavimento é o histórico de sua serventia ao longo do tempo.

O método utilizado por CAREY & IRICK (1960) consiste, inicialmente, na composição de uma equipe de avaliadores que irão atribuir “notas” ao pavimento existente. Cada avaliador utiliza uma ficha de avaliação (Figura 2.6) para cada seção, registrando seu parecer em escala de 0 (péssimo) a 5 (ótimo). A média aritmética dessas medidas subjetivas de serventia (notas) é definida como Valor de Serventia Atual (PSR - *Present Serviceability Rating*).

ACEITÁVEL?			5	
Sim	☐		4	ÓTIMO
Não	☐		3	BOM
Indeciso	☐		2	REGULAR
			1	RUIM
			0	PÉSSIMO
Identificação da Seção: _____		NOTA: _____		
Avaliador: _____		_____		
Data: _____	Hora: _____	Veículo: _____		

FIGURA 2.6 - Ficha para avaliação da serventia.

Em uma etapa seguinte, é feita a análise estatística para correlacionar o PSR com valores obtidos através de medidas físicas de defeitos do próprio pavimento (trincas, remendos, irregularidade longitudinal etc.). A previsão do valor do PSR a partir dessas avaliações objetivas é definida como Índice de Serventia Atual (PSI - *Present Serviceability Index*). O PSI, portanto, relaciona avaliações subjetivas com medidas objetivas dos defeitos, permitindo a quantificação da serventia.

Esses dois índices, PSR (*Present Serviceability Rating*) e PSI (*Present Serviceability Index*), foram padronizados pelo DNER como VSA (Valor de Serventia Atual) e ISA (Índice de Serventia Atual) respectivamente. A Norma DNER-PRO 007/94 (Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos) fixa o procedimento a ser adotado na avaliação baseada no Valor de Serventia Atual (VSA).

O Valor de Serventia Atual é definido como “a medida subjetiva das condições de superfície de um pavimento, feita por um grupo de avaliadores que percorrem o trecho sob análise, registrando suas opiniões sobre a capacidade do pavimento de atender às exigências do tráfego que sobre ele atua, no momento da avaliação, quanto à suavidade e ao conforto.” (DNER-PRO 007/94).

As condições impostas pela norma para a avaliação subjetiva do pavimento são:

- cada avaliador deve considerar somente o estado atual da superfície de rolamento;
- a avaliação deve ser feita sob condições climáticas totalmente favoráveis (sem chuva, nevoeiro, neblina etc.);

- devem ser ignorados os aspectos do projeto geométrico do trecho (largura de faixas, traçado em planta, rampas etc.), assim como a resistência à derrapagem do revestimento;
- devem ser considerados principalmente os buracos, saliências e as irregularidades transversais e longitudinais da superfície;
- devem ser desprezadas as irregularidades ocasionais devidas a recalques de bueiros;
- cada trecho deve ser avaliado independentemente e não deve haver troca de informações entre os avaliadores;
- cada avaliador deve considerar o conforto proporcionado pelo pavimento caso tivesse que utilizá-lo dirigindo um veículo durante 8 horas ou ao longo de 800 km.

2.3.2 - Avaliação Objetiva: Levantamento de Campo

O levantamento da condição dos pavimentos no campo, ou simplesmente levantamento de campo, é o processo de coleta de dados visando a determinação da integridade estrutural, do coeficiente de atrito superficial, da qualidade de rolamento da superfície do pavimento (aspecto funcional) e da extensão e severidade das diferentes formas de deterioração.

Os defeitos a serem levantados para a avaliação da superfície dependem do tipo de revestimento (concreto asfáltico, tratamento superficial, concreto de cimento Portland etc.) e do uso do pavimento (rodovia, aeroporto, via urbana etc.). O levantamento de campo fornece valiosas informações para a alocação adequada dos limitados recursos.

As formas de avaliação dos pavimentos compreendem:

- a) *Avaliação da irregularidade superficial*: o desempenho do pavimento, ou seja, sua capacidade de servir ao tráfego com conforto, segurança e economia, está intimamente relacionado com a irregularidade longitudinal. A irregularidade longitudinal pode ser quantificada por perfilômetros, perfilógrafos e equipamentos do tipo “resposta”, como por exemplo o integrador de irregularidade IPR/USP;
- b) *Ensaio estruturais*: podem ser destrutivos, mediante a avaliação da capacidade de suporte de amostras coletadas e *in situ*, ou não-destrutivos, envolvendo a medida de deflexões superficiais causadas por um carregamento conhecido. Para a avaliação estrutural não-destrutiva têm sido utilizados a viga Benkelman e os defletômetros de impacto tipo FWD;
- c) *Atrito superficial*: a avaliação do atrito superficial pneu-pavimento, relacionada à segurança, pode ser obtida através de equipamentos do tipo Mu-Meter ou do Pêndulo Britânico;
- d) *Levantamento dos defeitos*: envolve a inspeção visual e a identificação dos tipos de defeitos mais significativos e a medida e avaliação da extensão e severidade de cada defeito.

Considerando-se as formas de quantificação da condição dos pavimentos, os pavimentos urbanos apresentam particularidades significativas. Em se tratando de pavimentação urbana, o aspecto de conforto ao rolamento deve ser encarado de maneira diferente, quando comparado aos pavimentos rodoviários. Revestimentos aceitáveis para ruas com pouco tráfego e baixa velocidade não

podem ser comparados aos de uma rodovia por um mesmo índice de qualidade de conforto ao rolamento.

Nos pavimentos rodoviários, a irregularidade longitudinal é a variável ligada à condição dos pavimentos que mais influencia os custos de operação dos veículos, tendo impacto sobre a segurança, o conforto e a velocidade do tráfego. O fator velocidade dificulta a transferência dos sistemas de gerência de pavimentos de vias interurbanas (por exemplo, o HDM-III) para as vias urbanas, uma vez que a irregularidade longitudinal não condiciona as atividades de manutenção e reabilitação nos pavimentos urbanos. Logo, para os pavimentos urbanos, a avaliação funcional é útil apenas nas vias de trânsito rápido (acima de 60km/h).

A avaliação estrutural de um pavimento denota sua adequação ou capacidade de resistir à deterioração provocada pela passagem das cargas do tráfego. Nas cidades brasileiras de pequeno e médio porte, verifica-se uma parcela menor de caminhões com tráfego leve na maioria das ruas. Assim, no caso dos pavimentos urbanos, a avaliação estrutural, com equipamentos para medida de deflexão superficial (viga Benkelman e FWD, por exemplo), é útil apenas para análises detalhadas, em nível de projeto, de seções priorizadas e recomendadas para estudos de reforço ou reconstrução, pois quando usada para tomada de decisão em nível de rede acarreta grande acréscimo nos custos.

Medidas de resistência ao atrito superficial podem fornecer um indicador das características de segurança da superfície. No entanto, o quesito segurança tem merecido pouca atenção dos administradores e pesquisadores brasileiros, especialmente no âmbito urbano (MOTTA, 1995).

Outras diferenças entre os pavimentos de vias interurbanas e os pavimentos urbanos, associadas a defeitos típicos que ocorrem com maior frequência nos pavimentos urbanos, são:

- interferências de instalações subterrâneas de outras modalidades de infraestrutura urbana (concessionárias de serviços públicos: água, esgoto, energia elétrica, telefone, gás etc.);
- menores velocidades de tráfego;
- paradas frequentes nos sinais de trânsito.

Em função dessas particularidades, os sistemas de gerência de pavimentos urbanos não devem utilizar modelos de desempenho e custos desenvolvidos sob condições de operação rodoviária, que normalmente têm como principal variável independente a irregularidade longitudinal. A esse respeito cabe a observação de que, na verdade, o usuário é afetado pela aceleração vertical, que por sua vez depende da velocidade, do sistema de suspensão e da irregularidade longitudinal.

Considerando-se a gerência em nível de rede, os pavimentos urbanos podem ser avaliados apenas por levantamento de defeitos no campo, mediante inspeção visual. Portanto, dada a importância dessa forma de avaliação da condição dos pavimentos, trata-se em detalhe, no capítulo 3, dos métodos de levantamentos dos defeitos e da utilização de índices de defeitos combinados (ou apenas índices combinados), dos quais o ICP, Índice da Condição do Pavimento, utilizado no item 2.4 (Priorização), é um exemplo. Discutem-se, também, as principais atividades de manutenção e reabilitação associadas aos defeitos considerados.

2.4 - Priorização

Para a otimização, numa situação de disponibilidade total de recursos, basta a escolha das estratégias ótimas em nível de projeto. Sob a situação real de restrição orçamentária, no entanto, devem ser utilizadas técnicas de priorização, que permitem a manutenção da rede viária na melhor condição possível e ao mínimo custo, embora possam resultar em decisões não-ótimas em nível de projeto.

Conforme apresentado por HAAS et al. (1994), as prioridades em gerência de pavimentos podem ser determinadas por vários métodos, que vão da simples hierarquização subjetiva até a otimização baseada em modelos de programação matemática, passando pelo uso de índices de priorização calculados em função de fatores que condicionam o desempenho dos pavimentos e os custos associados.

Os critérios exclusivamente subjetivos eliminam muitas das vantagens que se poderia obter com um sistema de gerência. Por outro lado, as técnicas de otimização são muito complexas e, muitas vezes, não se dispõem de dados para alimentar os modelos. Portanto, para a gerência de pavimentos urbanos, em nível de rede, a melhor alternativa é a utilização de índices ou matrizes de priorização, desenvolvidas, muitas vezes, com base na opinião de especialistas, que selecionam os fatores intervenientes e os níveis correspondentes.

Índices compostos, denominados Índices de Prioridade (IP), podem ser utilizados para a hierarquização e seleção de trechos e de estratégias de manutenção e reabilitação. Consideram variáveis tais como: condição dos pavimentos, volume de tráfego, classificação funcional, idade desde a última intervenção, drenagem e histórico de acidentes.

Um Índice de Prioridade (IP), proposto por TAVAKOLI et al. (1992), pode ser calculado pela expressão:

$$IP = \frac{ICP}{FT \times CF \times FR} \quad (2.1)$$

onde:

- IP = índice de prioridade;
- ICP = índice de condição do pavimento (maior prioridade quanto pior a condição do pavimento);
- FT = fator de tráfego (maior prioridade quanto maior o volume de tráfego: por exemplo, 10 para VDM 0 a 99; 20 para VDM 100 a 499; 30 para VDM 500 a 999; 40 para VDM 1000 a 1999; 50 para VDM 2000 a 4999; 100 para VDM maior que 5000);
- CF = fator de classificação funcional (maior prioridade para as ruas mais importantes: por exemplo, 1,2 para arteriais; 1,1 para coletoras; 1,0 para acessos locais);
- FR = fator de rota de trânsito de veículos especiais (prioridade maior para rotas de ônibus, por exemplo).

Outra forma de determinação do Índice de Prioridade, que também utiliza os fatores Índice de Condição dos Pavimentos (ICP), tráfego e classe funcional, incluindo de diferente apenas a idade desde a última intervenção, é mediante a utilização de matrizes de priorização, conforme apresentado na Figura 2.5 (CHEN et al., 1993) e utilizado no estudo piloto desenvolvido na cidade de São Carlos - SP. A Figura 2.7 apresenta as inequações utilizadas nas matrizes da Figura 2.8.

FIGURA 2.7 - Cálculo do Índice de Prioridade (IP) em função da condição do pavimento, da idade desde a última intervenção, do tráfego e da classe funcional (CHEN et al., 1993).

ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO (ICP)				
1 - Péssimo	2 - Ruim	3 - Regular	4 - Bom	5 - Excelente
< 30	30 - 50	50 - 70	70 - 80	>= 80

IDADE DO PAVIMENTO (ANOS)				
1 - Muito Velho	2 - Velho	3 - Médio	4 - Novo	5 - Muito Novo
> 20	20 - 15	15 - 10	10 - 5	<= 5

CLASSIFICAÇÃO DE TRÁFEGO - VDM (x 1000)				
1 - Muito Pesado	2 - Pesado	3 - Médio	4 - Leve	5 - Muito Leve
> 4.0	4.0 - 3.0	3.0 - 2.0	2.0 - 1.0	<= 1.0

FIGURA 2.8 - Exemplo de inequações utilizadas para priorização das seções (CHEN et al., 1993).

Como os recursos disponíveis são sempre inferiores às necessidades, até mesmo nos países desenvolvidos, deve-se proceder uma análise econômica a partir das informações sobre os recursos disponíveis e elaborar, com base na lista de prioridades, um programa de intervenções para vários anos. Deve-se destacar que os recursos disponíveis não devem ser levados em consideração, até a análise econômica, para não influenciar negativamente a avaliação técnica.

2.5 - Exemplos de Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos

As administrações municipais interessadas na implantação de sistemas de gerência de pavimentos urbanos podem optar pela contratação de uma empresa de consultoria para desenvolver um programa específico para a cidade em questão ou pela compra de um programa já desenvolvido.

Infelizmente, ambas as opções apresentam limitações: a primeira alternativa é cara, acima das possibilidades da grande maioria das cidades brasileiras, além de que a experiência americana mostra sérios problemas de continuidade após o final das atividades da empresa de consultoria (CHEN et al., 1993); a segunda alternativa necessita de um grande número de dados de entrada, geralmente além do que pode ser obtido com os recursos disponíveis, além de considerar modelos de desempenho desenvolvidos para condições distintas das que prevalecem no local onde vai ser utilizado.

Dentre os sistemas disponíveis merecem destaque:

- MicroPAVER: desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos e apresentado em detalhes por BOWEN & LEE (1991) e FEIGHAN et al. (1988 e 1989);
- MTC: desenvolvido pela *Metropolitan Transportation Commission* para a Região Metropolitana de São Francisco (SMITH et al., 1987a);
- URMS: o *Urban Roadway Management System* (Sistema de Gerência de Vias Urbanas) foi desenvolvido na Universidade do Texas em Austin por CHEN et al. (1993 e 1994). O URMS consiste de um programa que auxilia a gerência de pavimentos tanto em nível de rede como em nível de projeto. É constituído de quatro subsistemas, conforme apresentado na Figura 2.9: planejamento (em nível de rede), dimensionamento (em nível de projeto), construção e manutenção. O subsistema de planejamento identifica e seleciona alternativas de manutenção e reabilitação e auxilia na elaboração de orçamentos anuais. O subsistema de dimensionamento seleciona materiais e determina as espessuras das camadas para as seções selecionadas para construção, recapeamento ou reconstrução. O subsistema de construção programa as atividades de recapeamento ou reconstrução de maneira a reduzir os congestionamentos durante as intervenções. O subsistema de manutenção seleciona as atividades de manutenção e reabilitação. Os dados de entrada requeridos pelo programa URMS consistem na identificação das seções, geometria dos pavimentos e histórico das intervenções, tráfego e condição dos pavimentos. A condição do pavimento é quantificada pelo Índice de Condição do Pavimento (ICP), apresentado em detalhes no capítulo 3.

FIGURA 2.9 - Fluxograma do programa de gerência de pavimentos urbanos URMS (adaptada de CHEN et al., 1994).

2.6 - Perspectivas Futuras dos Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos

2.6.1 - Introdução

Toda tecnologia deve ser dinâmica, com contínuo desenvolvimento e aperfeiçoamento. Os sistemas de gerência de pavimentos não constituem exceção, sendo de grande importância, portanto, a identificação de áreas que

necessitam ser incrementadas para melhor atender as necessidades atuais e futuras.

Buscando identificar essas áreas, FERNANDES JR. & HUDSON (1994) compilaram e analisaram as idéias e opiniões de profissionais ligados à engenharia de transportes a respeito de pesquisas e inovações necessárias para o desenvolvimento e implementação com sucesso da gerência de pavimentos. As opiniões foram baseadas em questionários sobre a “identificação de problemas”, respondidos por mais de 400 profissionais, atuantes em organismos rodoviários dos Estados Unidos e de mais de 20 países, incluindo o Brasil. Dentre os mais citados, merecem destaque dois temas relacionados às perspectivas futuras da gerência de pavimentos urbanos: modelos para previsão de desempenho dos pavimentos e integração dos sistemas de gerência de pavimentos com Sistemas de Informação Geográfica.

O desempenho dos pavimentos existentes e a previsão de suas condições futuras é um problema de grande interesse para os engenheiros de pavimento. Os modelos de previsão devem ser adaptados às formas de deterioração que efetivamente condicionam as atividades de manutenção e reabilitação dos locais em que serão aplicados. No caso das cidades brasileiras de pequeno e médio porte, cujos pavimentos carecem de dados históricos, podem ser utilizados os modelos subjetivos de previsão de desempenho. Neste caso, a experiência de engenheiros e técnicos é formalizada através de processos de transição, como por exemplo, o processo de Markov.

O volume crescente de informações relativas às redes viárias têm exigido sistemas cada vez mais eficientes de processamento dos dados levantados, particularmente daqueles que se distribuem espacialmente (WISCONSIN DOT, 1990). Muitas das informações coletadas pelos organismos rodoviários e

prefeituras têm sido armazenadas, ao longo do tempo, sob a forma de mapas, gráficos, figuras, textos e tabelas. Mais recentemente, os avanços tecnológicos na informática têm proporcionado o desenvolvimento e a divulgação de uma poderosa ferramenta, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que podem ser utilizados no processo de gerência de pavimentos, permitindo sua compatilização com outros sistemas de gerência de infra-estrutura urbana.

2.6.2 - Modelos de Previsão de Markov

2.6.2.1 - Comportamento Probabilístico dos Pavimentos

Um pavimento inicia sua vida numa condição próxima da perfeita e é então exposto a uma série de solicitações que causam a sua deterioração. Dessa forma, o valor de qualquer índice estabelecido para avaliar o estado do pavimento sofre modificações com o decorrer do tempo, até alcançar um valor limite, quando alguma intervenção deverá ser providenciada para que sua condição de aceitabilidade seja restabelecida. As curvas de desempenho (Figura 2.10) definem uma relação entre a serventia esperada e a idade ou o tráfego acumulado, geralmente expresso pelo número de solicitações equivalentes do eixo-padrão (80 kN, eixo simples com rodas duplas).

FIGURA 2.10 - Exemplo de curva de previsão de desempenho.

Um método de previsão é uma descrição matemática dos valores esperados para um atributo do pavimento (geralmente o índice de serventia) durante um período especificado de análise. A previsão do desempenho de um pavimento, mediante modelos determinísticos ou estocásticos, representa um importante papel no processo de gerência de pavimentos, contribuindo para um melhor planejamento das atividades.

Sendo o desempenho dos pavimentos um processo estocástico (fenômeno que varia, em algum grau, de forma imprevisível à medida em que o tempo passa), para o desenvolvimento de modelos de previsão são mais indicadas as técnicas probabilísticas (CLARKE & DISNEY, 1979), como por exemplo o processo de Markov, que permite a estimativa da condição futura a partir do conhecimento do estado atual, mediante a determinação de uma matriz de probabilidades de transição.

2.6.2.2 - Processo de Markov

O processo de Markov é um processo estocástico que satisfaz a seguinte propriedade: *“o futuro do processo só depende da sua condição presente”*. Ou seja, a probabilidade de qualquer evento futuro, dado qualquer evento passado e o estado atual, é independente do evento passado e depende apenas do estado atual do processo. É conveniente entender que não são desconsideradas as informações passadas do processo: é como se todas estivessem representadas nas condições do presente. A probabilidade do processo passar de um estado para outro é chamada probabilidade de transição.

Em 1980, o Departamento de Transportes do Arizona utilizou o processo de Markov para a previsão de desempenho dos pavimentos ao longo do tempo, na primeira implementação com sucesso de modelos matemáticos sofisticados, baseados em técnicas de previsão estocásticas, em gerência de pavimentos (WANG et al., 1994). Posteriormente, inúmeras agências também implementaram modelos de previsão baseados no processo de Markov: FEIGHAN et al. (1988) para o PAVER e depois para o MicroPAVER; HARPER & MAJIDZADEH (1991) na Arábia Saudita; GOPAL & MAJIDZADEH (1991) para sistemas de manutenção baseados em nível de serviço e SCHERER & GLAGOLA (1994) para gerência de manutenção de pontes no Departamento de Transportes da Virginia.

No modelo de previsão desenvolvido para o programa MicroPAVER, o estado de um pavimento é definido em termos de Índice de Condição do Pavimento (ICP). O ICP, que varia de 0 a 100, é dividido em 10 estados iguais, com um intervalo de 10 pontos para cada valor de ICP. Um ciclo de solicitação para um pavimento é definido como o período de 1 ano, em que o pavimento sofre solicitações climáticas e do tráfego. Um vetor estado indica a probabilidade da seção do pavimento estar em cada um dos 10 estados em qualquer ano, conforme apresentado na Figura 2.11.

FIGURA 2.11 - Representação esquemática de estado, vetor estado e ciclo de solicitação (BUTT et al., 1994).

Uma seção de pavimento é definida como uma parte da rede pavimentada que tem o mesmo tipo, estrutura, histórico de construção, condição, uso e classificação funcional. Uma família de pavimento é definida como um grupo de seções do pavimento com características similares. Todas as seções vistoriadas de uma família são classificadas dentro de 1 dos 10 estados em uma determinada idade. É admitido que todas as seções do pavimento estão no estado 1 (ICP entre 90 e 100) logo após a construção (idade 0). Assim, o vetor estado no ciclo de solicitação 0 (idade 0) é dado por (1,0,0,0,0,0,0,0,0,0), porque é sabido (com probabilidade de 1.0) que todas as seções do pavimento devem estar no estado 1 logo após a construção.

Para modelar a deterioração do pavimento ao longo do tempo é necessário estabelecer uma matriz de probabilidades de transição. Considera-se a hipótese simplificadora de que a condição do pavimento não diminuirá mais que um estado (10 pontos no ICP) em um único ano. Assim, o pavimento no período de 1 ano ou permanecerá no estado atual ou cairá para o próximo estado.

Conseqüentemente, a matriz de probabilidades de transição tem a forma

$$P = \begin{bmatrix} p(1) & q(1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p(2) & q(2) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p(3) & q(3) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p(4) & q(4) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p(5) & q(5) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p(6) & q(6) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p(7) & q(7) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p(8) & q(8) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p(9) & q(9) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

onde $p(j)$ é a probabilidade do pavimento permanecer no estado j durante um ciclo de solicitação, e $q(j) = 1 - p(j)$ é a probabilidade do pavimento passar

para o próximo estágio $(j + 1)$ durante um ciclo de solicitação. A entrada de 1 na última coluna da matriz de transição corresponde ao estado 10 (ICP de 0 a 10). A condição do pavimento não pode passar deste estado, a não ser que uma ação de reparo seja efetuada.

O vetor estado para qualquer ciclo de solicitação t é obtido pela multiplicação do vetor estado inicial $\tilde{p}(0)$ pela matriz de transição P elevada à potência t . Assim:

$$\tilde{p}(1) = \tilde{p}(0) * P \quad (2.2)$$

$$\tilde{p}(2) = \tilde{p}(1) * P = \tilde{p}(0) * P^2 \quad (2.3)$$

...

$$\tilde{p}(t) = \tilde{p}(t-1) * P = \tilde{p}(0) * P^t \quad (2.4)$$

Com este procedimento, se a matriz de probabilidades de transição puder ser estimada, o estado futuro do pavimento em qualquer ciclo de solicitação t poderá ser previsto.

A matriz de probabilidades de transição pode ser obtida a partir de dados de desempenho de um grande número de seções de pavimentos, submetidas a diferentes ações de manutenção e reabilitação por um longo período de tempo. O que acontece, geralmente, é que as prefeituras não possuem um banco de dados com informações históricas suficientes para permitir a determinação direta das matrizes de probabilidades de transição. Neste caso, as matrizes de transição podem ser estimadas através de métodos formais de entrevistas, como o método de Delfos (FERNANDO, 1982; ZHANG et al., 1993).

O método de Delfos foi introduzido nos anos 50, nos Estados Unidos, através da Corporação Rand, sendo inicialmente utilizada para estudar a opinião de

especialistas sobre problemas da força aérea americana. O método consiste em obter o consenso entre um grupo de especialistas através de respostas escritas, onde são utilizados uma série de questionários (LINSTONE & TUROFF* apud ROBINSON, 1991).

Segundo SAITO & SINHA (1991), os três principais componentes do método de Delfos são: o painel, os questionários e as rodadas. “No painel é apresentado o problema a ser posto em discussão e quem serão os participantes. Os questionários representam a materialização desses problemas. Já as rodadas constituem o número de interações necessárias para se chegar ao consenso” (FURTADO & KAWAMOTO, 1997, p.228).

O método apresenta três características que o distinguem dos métodos tradicionais de interação de um painel de especialistas (SAITO & SINHA, 1991):

- anonimato: os membros do grupo não se confrontam diretamente durante a sequência do processo, pois a interação entre os membros é feita através do uso de questionários. O anonimato do processo garante que uma idéia possa ser considerada em seus méritos, independentemente do respeito que é dado ao proponente pelos outros membros do grupo;
- interação com respostas controladas: permite extrair dos questionários as informações relevantes e apresentá-las aos membros do grupo para nova discussão;
- análise estatística das respostas: permite quantificar a variação entre as opiniões.

---

* LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. (1975). *The Delphi Method: Techniques and Applications*. Editado por Harold A. Linstone e Murray Turoff. Addison-Wesley, Londres apud ROBINSON, J.B.L. (1991). *Delphi Methodology for Economic Impact Assessment*. Journal of Transportation Engineering. Vol. 117, n.3, p.335-349.

A técnica de Delfos é utilizada, portanto, em casos onde o contexto de tomada de decisão é complexo e seja desejável uma decisão final através da agregação dos julgamentos individuais. Os especialistas fazem previsões sobre a evolução da deterioração dos pavimentos a partir de um determinado estado atual e por um dado período de tempo.

As vantagens dos modelos subjetivos incluem a possibilidade do desenvolvimento de curvas de desempenho sem dados históricos e a calibração direta. Dentre as desvantagens, a principal é a necessidade do desenvolvimento de matrizes de probabilidades de transição para cada combinação dos fatores que afetam o desempenho dos pavimentos (por exemplo, tipo de pavimento, espessura das camadas, volume e cargas do tráfego, tipo de subleito etc.).

Neste trabalho, no capítulo que apresenta o estudo piloto desenvolvido na cidade de São Carlos - SP, faz-se um teste de questionário utilizado para determinação parcial de matrizes de probabilidades de transição, a partir da opinião de especialistas.

2.6.3 - Os Sistemas de Informação Geográfica

2.6.3.1 - Introdução

O constante avanço tecnológico dos microcomputadores é significativo, tanto em nível dos equipamentos em si, como em nível dos programas aplicativos disponíveis. Um dos aplicativos de uso consagrado em computadores é o gerenciador de banco de dados. Esse tipo de programa ganhou, nos últimos anos, a capacidade de lidar com imagens e de localizar no espaço os dados alfanuméricos. Essa característica permite a visualização espacial das análises

realizadas com os dados, facilitando a percepção dos resultados por parte dos usuários. Aos programas de computador que permitem essa combinação de banco de dados alfanuméricos com imagens espaciais (ou geográficas) passou-se a chamar de SIG, ou Sistemas de Informação Geográfica (a partir do original em inglês GIS - *Geographic Information Systems*).

Para o registro dos dados de natureza espacial (ou geográfica), é extremamente importante a utilização de representações gráficas que servem de base para o planejamento, uma vez que toda prefeitura tem pelo menos um mapa da cidade, atualizado ou não, preciso ou não, mas indispensável para a administração e o planejamento urbanos.

2.6.3.2 - Desenvolvimento da Base de Informações Geográficas

A principal característica de um SIG é a existência de um banco de dados alfanumérico associado a informações espaciais. Para que isso seja possível, o SIG trabalha com um elemento comum, tanto para o banco de dados como para a representação espacial. A esse elemento, que é sempre um campo do banco de dados (os campos podem ser, por exemplo: nome da rua, tipo de pavimento, ano de construção, volume de tráfego, condição do pavimento etc.), dá-se o nome de *campo chave*. No campo chave não podem aparecer dados iguais em registros diferentes, pois isso não garantiria a relação *de um para um* necessária entre o dado gráfico e o dado alfanumérico.

Outra particularidade que um SIG apresenta é a possibilidade de omitir partes do desenho. Isso é possível porque o desenho é, na realidade, composto de diversas partes, denominadas camadas (*layers*), cada uma delas contendo um tipo de informação diferente. As camadas de informação podem ser

manipuladas de forma a mostrar todas as informações gráficas ou parte delas, de acordo com o que se deseja mostrar.

Nos Estados Unidos foram desenvolvidos os arquivos TIGER (do inglês *Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing*), que fornecem uma enorme base de dados das cidades americanas, em formato digital e com inúmeros atributos a eles associados (ABKOWITZ et al., 1990; SIMKOWITZ, 1990; ZHANG et al., 1994). Esses arquivos podem ser utilizados para planejamento em diversas áreas, tais como educação, saúde, transportes etc. No Brasil, infelizmente, ainda não se dispõe desses arquivos.

Buscando preencher essa lacuna, o Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos iniciou um amplo plano de pesquisa utilizando os Sistemas de Informação Geográfica (VIVIANI & SÓRIA, 1995; SILVA & MOTTA, 1995; SILVA, A. N. R. et al., 1995 e BRONDINO & SILVA, 1996). Dentre as cidades analisadas estão Araraquara - SP, São Carlos - SP, Araçatiguama - SP e São José do Rio Pardo - SP.

A etapa inicial consistiu na digitalização do sistema viário de São Carlos, conforme apresentado em detalhes por SILVA et al. (1996). O mapa utilizado, na escala de 1:10.000, foi fornecido pela prefeitura e contém dados atualizados até 1988. O programa utilizado foi um SIG-T (Sistema de Informação Geográfica para Transportes), denominado TransCAD. Após a digitalização, fez-se a segmentação da malha viária em quarteirões. Dentre as informações armazenadas até o momento, constam os dados do recenseamento geral de 1991 (classificação dos setores censitários, total de domicílios, instalações sanitárias, redes de abastecimento de água, coleta de lixo, nível de renda, número de habitantes), os nomes das ruas, as rotas de ônibus e mãos de direção.

Embora não seja um arquivo TIGER, trata-se de um material muito rico para o desenvolvimento de pesquisas na área de transportes, além de ser extremamente útil para o planejamento em inúmeras áreas de atuação.

2.6.3.3 - Os Sistemas de Informação Geográfica e a Gerência de Pavimentos

Um SIG não é um mero auxílio à produção de desenhos. Trata-se de uma tecnologia que oferece ferramental operacional que auxilia e agiliza os procedimentos de planejamento, gerência e de tomada de decisão, sendo utilizada de forma cada vez mais promissora nas mais diferentes áreas.

A utilização dos Sistemas de Informação Geográfica na Engenharia de Transportes tem sido cada vez mais freqüente e suas aplicações são bastante variadas. Especificamente na área de infra-estrutura de transportes, têm grande aplicabilidade na gerência de pavimentos, gerência de manutenção, inventário de pontes e dispositivos de drenagem, inventário de sinalização, dentre outras, e na literatura técnica diversos autores têm abordado sobre essas aplicações (ABKOWITZ et al., 1990; SIMKOWITZ, 1990; OSMAN & HAYASHI, 1994; JOHNSON & DEMETSKY, 1994).

Se por um lado os Sistemas de Informação Geográfica já começam a produzir resultados satisfatórios na gerência da malha viária dos países desenvolvidos, por outro lado a realidade brasileira é bastante diferente, sendo, no entanto, uma área bastante promissora para a aplicação dessa tecnologia.

O primeiro passo de um processo de gerência de pavimentos é o levantamento e cadastramento das seções do pavimento, a caracterização dos principais defeitos e suas medidas de severidade e extensão. De posse dos dados necessários, pode-se fazer várias análises através de mapas temáticos. Pode-se construir um mapa mostrando, por exemplo, todos os defeitos que aparecem em uma determinada seção, ou criar um mapa indicando os índices de condição das várias seções do pavimento (SIMKOWITZ, 1990).

2.6.3.4 - Integração entre Sistemas de Gerência de Infra-estrutura Urbana

É observada a ausência de trabalho integrado entre as diversas áreas do serviço público municipal que interferem no espaço da via pública mostradas na Figura 2.12. Com o crescimento das cidades, são necessários novas aberturas de trincheiras para a ampliação e manutenção das instalações existentes. Os remendos executados geralmente resultam na diminuição da qualidade de rolamento e da integridade estrutural dos pavimentos.

FIGURA 2.12 - Exemplos de interferências da infra-estrutura urbana na via pública (adaptada de AL-SWAILMI, 1994).

Existe a necessidade de desenvolvimento de um sistema de gerência global ou abrangente de tal forma que todos os sistemas da infra-estrutura urbana (pavimentos, água, esgoto, energia elétrica etc.) possam ser integrados em uma plataforma comum, buscando melhorar as decisões de gerência (Figura 2.13). Os sistemas de informação geográfica (SIG) permitem a integração dessas operações e a compatibilização dos sistemas de gerência da infra-estrutura urbana à medida em que estabelecem uma base comum de dados geograficamente distribuídos (ZHANG et al., 1994).

FIGURA 2.13 - Conceito de sistema de gerência global da infra-estrutura urbana (adaptada de ZHANG et al., 1994).

Esta integração permite que os dados sejam armazenados de forma a possibilitar o rápido acesso tanto para a análise das vias e o estabelecimento de cronogramas de inspeções e intervenções como para o controle de tráfego e a tomada de providências em caso de desastres.

3 - Avaliação da Condição dos Pavimentos: Índices Combinados e Atividades de Manutenção e Reabilitação

---

3.1 - Introdução

Toda estrutura sofre um processo de deterioração ao longo do tempo. Estradas e ruas não constituem exceção. Os pavimentos deterioram-se mais lentamente nos anos iniciais de sua vida em serviço, mas à medida em que se aproximam do final da vida de projeto a taxa de deterioração aumenta. Quase sempre, atividades de manutenção e reabilitação têm de ser efetuadas para corrigir os defeitos e, dessa forma, proteger os investimentos e proporcionar aos usuários uma superfície de rolamento confortável, segura e econômica.

Existe íntima relação entre o desempenho dos pavimentos, as estratégias de intervenção, as datas de realização das atividades de manutenção e os custos. Conforme exemplificado na Figura 3.1, atrasos nas atividades de manutenção e reabilitação quase sempre resultam em gastos adicionais quando a manutenção é finalmente executada, pois as estruturas dos pavimentos sofrem deterioração acelerada à medida em que as atividades de manutenção e reabilitação são adiadas. A gerência de pavimentos visa minimizar esse problema, integrando a avaliação dos pavimentos com a definição das atividades de manutenção e reabilitação e a priorização.

FIGURA 3.1 - Exemplo de Inter-relação entre desempenho dos pavimentos, estratégia de intervenção, data da manutenção e custos (FHWA, 1989).

Conforme apresentado anteriormente, o primeiro passo no desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos consiste na definição das seções de análise, geralmente em função do volume de tráfego, do tipo de pavimento, do tipo e espessura de cada camada, do tipo de subleito e do estado de conservação do pavimento. Em seguida, procede-se um levantamento da condição atual do pavimento, registrando-se as extensões e severidades de cada forma de deterioração encontrada nas seções.

Com base no inventário e no levantamento de campo, pode-se analisar, em nível de rede, diferentes estratégias de manutenção e reabilitação (por exemplo, "não fazer nada", "manutenção corretiva", "manutenção preventiva", "recapeamento", "reconstrução"). Finalmente, passa-se à análise em nível de projeto, que consiste na definição das atividades de manutenção e, quando for o caso, no dimensionamento dos reforços e na reconstrução (Figura 3.2).

FIGURA 3.2 - Relação das estratégias de manutenção e reabilitação com as outras etapas de um sistema de gerência de pavimentos (adaptada de MAPC, 1986).

Mediante utilização de um sistema de gerência de pavimentos, os organismos rodoviários ou prefeituras municipais podem avaliar a aplicação de várias estratégias de manutenção e reabilitação, simulando seus efeitos sobre a condição dos pavimentos e os custos associados (de construção, de manutenção e reabilitação e de operação dos veículos). Podem, dessa forma, escolher a melhor estratégia (“o que fazer”), selecionar a atividade mais indicada (“como fazer”), indicar as seções prioritárias (“onde fazer”) e definir a melhor época para a execução dos serviços de manutenção (“quando fazer”).

Neste capítulo, apresentam-se os principais defeitos dos pavimentos asfálticos, discutem-se formas de avaliação dos pavimentos, particularmente o uso de índices de defeitos combinados para quantificação da condição dos pavimentos, e relacionam-se atividades de manutenção e reabilitação mais indicadas para eliminação dos defeitos apresentados.

3.2 - Avaliação da Condição dos Pavimentos

3.2.1 - Introdução

Todos os materiais utilizados em pavimentação apresentam, durante a vida em serviço, alguma forma de deterioração, resultado das solicitações do tráfego e das condições climáticas (temperatura e teor de umidade) a que são submetidos antes mesmo de começarem a servir aos usuários. A manifestação, à superfície, desses diferentes mecanismos de deterioração da estrutura do pavimento resultam em defeitos capazes de diminuir ou contribuir para a diminuição da serventia.

O aparecimento de defeitos nos pavimentos não deve ser encarado como algo alarmante, a menos que eles ocorram precocemente. Porém, o reconhecimento do tipo de defeito, a quantificação de sua *extensão* e identificação do nível de *severidade* (definidas, respectivamente, como a frequência de ocorrência ou quantidade de superfície de rolamento sujeita a um determinado tipo de defeito e o grau de deterioração associado aos vários tipos de defeitos, normalmente classificados em três níveis: baixo, médio e alto) e a determinação das causas dos defeitos são de vital importância para seleção das estratégias de intervenção e definição das atividades de manutenção e reabilitação.

O reconhecimento de que pavimentos diferentes apresentam diferentes taxas de deterioração é importante para a escolha do momento mais indicado para a realização das atividades e, em virtude da limitação dos recursos, as análises de priorização, função dentre outras da condição dos pavimentos, são necessárias para a escolha das seções que sofrerão as intervenções.

Neste trabalho, consideram-se as formas de deterioração utilizadas nos estudos sobre o desempenho de pavimentos a longo prazo (LTPP) do programa estratégico de pesquisa rodoviária (SHRP), desenvolvido por mais de vinte países, sob a liderança dos Estados Unidos (a dotação inicial do congresso americano para o Programa SHRP foi de 150 milhões de dólares), e que visa obter uma base uniforme e consistente para a coleta de dados.

Os defeitos são agrupados com base em suas causas, e podem ser assim classificados:

- trincas: por fadiga, em blocos, laterais, longitudinais, por reflexão, transversais;
- remendos e panelas;
- deformação superficial: deformação permanente nas trilhas de roda, corrugação;
- defeitos superficiais: exsudação, agregados polidos, desgaste;
- defeitos diversos: desnível entre pista e acostamento, bombeamento.

Para os defeitos considerados no manual do SHRP (1993b), pode-se fazer uma adaptação a partir do manual da AASHTO (1986) e distinguir suas causas principais (Tabela 3.1).

TABELA 3.1 - Causas dos principais defeitos dos pavimentos asfálticos
(adaptada de AASHTO, 1986).

TIPO DE DEFEITO	CAUSA PRINCIPAL	
	Associada ao Tráfego	Materiais e Meio Ambiente
1.Trincas por Fadiga do Revestimento	X	
2.Trincas em Blocos		X
3.Trincas nos Bordos (Laterais)		X
4.Trincas Longitudinais		X
5.Trincas por Reflexão		X
6.Trincas Transversais		X
7.Remendos	X	
8.Panelas	X	
9.Deformação Permanente nas Trilhas	X	
10.Corrugação		X
11.Exsudação		X
12.Agregados Polidos	X	
13.Desgaste		X
14.Desnível Pista-Acostamento		X
15.Bombeamento	X	X

3.2.2 - Métodos de Levantamento de Defeitos no Campo

O propósito do levantamento dos defeitos é identificar e quantificar (tanto em extensão como em severidade) aqueles que podem afetar o desempenho de um

pavimento. A presença de um defeito na superfície do pavimento deve ser descrita e caracterizada adequadamente, permitindo a tomada de decisão sobre a estratégia de manutenção mais apropriada. Um bom levantamento de defeitos deve (FHWA, 1989):

- identificar as seções que não necessitam de manutenção imediata;
- identificar as seções que requerem apenas manutenção de rotina;
- identificar e priorizar as seções que requerem manutenção preventiva;
- identificar as seções que necessitam reabilitação.

O levantamento de campo pode ser realizado através de avaliação de dentro de veículo trafegando a baixa velocidade (20 a 30 km/h), com cobertura de toda a rede (mas com obtenção de dados de qualidade inferior), ou mediante caminhamento em seções selecionadas por amostragem. O tamanho da amostra depende da variabilidade dos defeitos, da precisão desejada, do tempo disponível e dos custos envolvidos, mas geralmente varia de 10 a 25% da rede (HAAS et al., 1994). A amostragem pode ser aleatória, conforme recomendado pela teoria estatística, ou em intervalos pré-determinados, conforme ocorre em alguns organismos rodoviários estrangeiros (no Departamento de Transportes do Texas, por exemplo).

3.2.3 - Equipamentos para Avaliação de Defeitos

Procedimentos manuais para levantamento de campo podem ser relativamente lentos, não uniformes e passíveis de erros de transcrição, particularmente para grandes redes viárias. Em função disso, têm sido desenvolvidos veículos que fotografam ou filmam os pavimentos, para posterior análise em escritório. Os veículos de última geração não apenas registram as imagens do pavimento,

como também permitem a classificação e quantificação dos tipos de defeitos com base em um gabarito pré-estabelecido, eliminando a subjetividade. Dentre os equipamentos existentes, HAAS et al. (1994) citam o sistema PASCO ROADRECON, o sistema GERPHO e o ARAN (Analisador Automático de Rodovias):

- PASCO ROADRECON: sistema constituído por duas câmeras fotográficas montadas sobre um veículo que viaja a uma velocidade de 80 km/h. As fotos são tiradas à noite, com auxílio de luz artificial. Uma das câmeras fotografa o pavimento de forma contínua, para a avaliação dos defeitos na superfície, e a outra fotografa o pavimento de forma intermitente, para a avaliação da deformação permanente nas trilhas de roda;
- GERPHO: registra as condições da superfície do pavimento através de fotografias em filme de 35 mm, obtidas por procedimentos semelhantes aos do sistema PASCO ROADRECON, mas não avalia a deformação permanente nas trilhas de roda;
- ARAN: registra os defeitos de superfície através de uma filmadora e de um sistema avaliador, que registra os defeitos utilizando dois teclados (dois avaliadores por seção). Os equipamentos são transportados em um veículo (Figura 3.3) que também carrega um sistema de aquisição de dados computadorizado e instrumentos para avaliar a irregularidade longitudinal (acelerômetros), a deformação permanente nas trilhas de roda (barra com sistema a laser para obtenção do perfil transversal), a condição da faixa de domínio (câmera de vídeo) e as distâncias percorridas (odômetro).

FIGURA 3.3 - ARAN - Analisador automático da superfície do pavimento (HAAS et al., 1994).

3.2.4 - Manuais para Identificação de Defeitos

Durante os trabalhos de levantamento de campo, geralmente surgem dúvidas com relação ao reconhecimento e à forma de medição dos defeitos. Vários manuais têm sido elaborados buscando estabelecer e uniformizar a nomenclatura, as definições, os conceitos e os métodos de levantamento dos principais defeitos observados nos pavimentos. Estes manuais auxiliam os avaliadores na definição do tipo e severidade de cada defeito e permitem homogeneizar o conhecimento e a conceituação das deteriorações dos pavimentos entre os avaliadores.

O manual de identificação de defeitos dos pavimentos SHRP, adotado no estudo piloto desenvolvido neste trabalho, considera 15 tipos de defeitos em pavimentos flexíveis, identificando-os através de fotos e figuras. O Manual oferece, para cada tipo de defeito, a sua descrição, o seu nível de severidade

(fotos) e o método para sua medição, conforme apresentado na Tabela 3.2 e Figura 3.4 - SHRP (1993b).

Existem outros manuais que são importantes como complemento do Manual de Identificação de Defeitos dos Pavimentos do Programa SHRP:

- *Catálogo dos Defeitos dos Revestimentos dos Pavimentos* (ARB, 1978): considera 64 tipos de defeitos (34 para pavimentos flexíveis), oferecendo, para cada um deles, a sua descrição e possíveis causas;
- *AASHTO - Apêndice K: Defeitos Típicos* (AASHTO, 1986): considera 17 tipos de defeitos (14 coincidentes com o SHRP), oferecendo, para cada um deles, a sua descrição, níveis de severidade e métodos de medição;
- *Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos* (DOMINGUES, 1993): considera 24 tipos de defeitos, oferecendo, para cada um deles, a sua descrição, mecanismo de ocorrência, localização, classe (funcional/estrutural), níveis de severidade (fotos) e métodos de medição.

Adotou-se o manual de levantamento de campo utilizado no Programa SHRP, em virtude da necessidade de uniformização da coleta de dados e, principalmente, do compromisso dos países envolvidos com o Programa SHRP para o acompanhamento do desempenho das seções ao longo do tempo. Os manuais publicados em língua portuguesa (ARB, 1978; DOMINGUES, 1993) podem ser utilizados, mas não se deve esquecer que eles também foram elaborados a partir das experiências francesa e americana e que apresentam limitações e deficiências eliminadas nas diversas revisões por que passou o Manual do Programa SHRP (SMITH et al., 1987b; CASTEDO et al., 1990).

TABELA 3.2 - Identificação de defeitos nos pavimentos (SHRP, 1993b).

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
1 TRINCAS POR FADIGA DO REVESTIMENTO	• Áreas submetidas a cargas repetidas de tráfego • Forma: “couro de crocodilo” ou “tela de galinheiro • Espaçamento inferior a 30 cm	• BAIXA: poucas trincas conectadas, sem erosão nos bordos e sem evidência de bombeamento • MÉDIA: trincas conectadas e bordos levemente erodidos, mas sem evidência de bombeamento • ALTA: trincas erodidas nos bordos, movimentação dos blocos quando submetidos ao tráfego e com evidências de bombeamento	Registrar a área afetada (m ²) para cada nível de severidade.
2 TRINCAS EM BLOCOS	• Trincas que dividem o pavimento em pedaços aproximadamente retangulares • Tamanho dos Blocos: 0,1 a 10 m²	• BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições • MÉDIA*: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa • ALTA*: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta	Registrar a área afetada (m ²) para cada nível de severidade.
3 TRINCAS LATERAIS	• Apenas para pavimentos com acostamentos não pavimentados • Dentro de uma faixa de 60 cm a partir da extremidade do pavimento	• BAIXA: sem perda de material ou despedaçamento • MÉDIA: perda de material e despedaçamento em até 10% da extensão afetada • ALTA: perda de material e despedaçamento em mais de 10% da extensão afetada	Registrar a extensão afetada (m) para cada nível de severidade.
4 TRINCAS LONGITUDINAIS	• Trincas predominantemente paralelas ao eixo, podendo se localizar dentro ou fora das trilhas de roda	• BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições • MÉDIA*: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa • ALTA*: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas com abertura média inferior a 19 mm mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta	Registrar a extensão (m) das trincas longitudinais e os níveis de severidade correspondentes (nas trilhas de roda ou fora delas). Registrar a extensão com selante em boas condições.

1. Fotografar ou filmar defeito não considerado pelo Manual.

OBS: 2. Mapear EXSUDAÇÃO, AGREGADOS POLIDOS e DESGASTE apenas se ocorrerem em áreas localizadas.

3. Caso contrário, registrar localização, extensão e nível de severidade no espaço destinado aos comentários, no Mapa para Localização dos Defeitos.

*Os limites para as trincas são muito altas quando consideradas para pavimentos brasileiros.

TABELA 3.2 - Identificação de defeitos nos pavimentos (continuação).

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
5 TRINCAS POR REFLEXÃO	- Reflexão de trincas ou juntas das camadas inferiores - Recapeamento ou pavimentos novos (contração da base)	- BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições - MÉDIA: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa - ALTA: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas com abertura média inferior a 19 mm mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta	Registrar, em separado, as trincas transversais e longitudinais. Registrar o nº de trincas transversais. Registrar a extensão das trincas e os níveis de severidade. Registrar a extensão com selante em boas condições.
6 TRINCAS TRANSVERSAIS	- Trincas predominantemente perpendiculares ao eixo - Severidade de uma trinca: adotar a mais elevada, desde que represente pelo menos 10% da extensão	- BAIXA: trincas com abertura média inferior a 6 mm ou seladas com material selante em boas condições - MÉDIA: trincas com abertura média entre 6 e 19 mm ou com trincas aleatórias adjacentes com severidade baixa - ALTA: trincas com abertura média superior a 19 mm ou trincas com abertura média inferior a 19 mm mas com trincas aleatórias adjacentes com severidade média a alta	Registrar o nº de trincas, a extensão e os níveis de severidade correspondentes. Registrar a extensão com selante em boas condições.
7 REMENDOS	Porção da superfície do pavimento, maior que 0,1 m², removida e substituída ou material aplicado ao pavimento após a construção inicial	Função da severidade dos defeitos apresentados pelo remendo	Registrar o nº de remendos e a área afetada (m ²) para cada nível de severidade.
8 PANELAS	- Buracos resultantes de desintegração localizada, sob a ação do tráfego e em presença de água - Fragmentação, causada por trincas por fadiga ou desgaste, e remoção localizada de partes do revestimento	- BAIXA: profundidade menor que 25 mm - MÉDIA: profundidade entre 25 e 50 mm - ALTA: profundidade maior que 50 mm	Registrar o nº de panelas e a área afetada por cada nível de severidade.
9 DEFORMAÇÃO PERMANENTE	Depressão longitudinal nas trilhas de roda, em razão de densificação dos materiais ou ruptura por cisalhamento	Substituídos pelas medições da deformação permanente a cada 15 m	Registrar a máxima deformação permanente nas trilhas de roda.

** Para pavimentos brasileiros, deve-se considerar também a área afetada.

TABELA 3.2 - Identificação de defeitos nos pavimentos (continuação).

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEIS DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
10 CORRUGAÇÃO	- Deformação plástica caracterizada pela formação de ondulações transversais na superfície do pavimento - Causada por esforços tangenciais (frenagem ou aceleração)	Associados aos efeitos sobre a qualidade do rolamento	Registrar o nº de ocorrências e a área afetada (m²).
11 EXSUDAÇÃO	Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento	- BAIXA: mudança de coloração em relação ao restante do pavimento devido ao excesso de asfalto - MÉDIA: perda de textura superficial - ALTA: aparência brilhante; marcas de pneus evidentes em tempo quente; agregados cobertos pelo asfalto	Registrar a área afetada (m²) para cada nível de severidade.
12 AGREGADOS POLIDOS	- Polimento (desgaste) dos agregados e do ligante betuminoso e exposição dos agregados graúdos - Comprometimento da segurança: redução do coeficiente de atrito pneu-pavimento	Níveis de polimento podem ser associados à redução no coeficiente de atrito pneu-pavimento	Registrar a área afetada (m²).
13 DESGASTE	- Perda de adesividade do ligante betuminoso e desalojamento dos agregados - Envelhecimento, endurecimento, oxidação, volatilização, intemperização	- BAIXA: início do desgaste, com perda de agregados miúdos - MÉDIA: textura superficial torna-se áspera, com perda de agregados miúdos e de alguns graúdos - ALTA: textura superficial muito áspera, com perda de agregados graúdos	Registrar a área afetada (m²) para cada nível de severidade.
14 DESNÍVEL (DEGRAU) ENTRE PISTA E ACOSTAMENTO	Diferença de elevação entre a faixa de tráfego e o acostamento: camadas sucessivas de revestimento asfáltico; erosão de acostamento não pavimentado; consolidação diferencial	Substituídos pelas medições do desnível	Registrar o desnível (mm) a cada 15 m, ao longo da interface pista-acostamento.
15 BOMBEAMENTO	- Saída de água pelas trincas do pavimento sob a ação das cargas do tráfego - Identificado pela deposição à superfície, de material carreado das camadas inferiores	Não aplicáveis porque o bombeamento depende do teor de umidade das camadas inferiores do pavimento	Registrar o nº de ocorrências e a extensão afetada (m²).

PLANILHA 1

LEVANTAMENTO DE CAMPO - SGPU

IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO: _____

DATA DO LEVANTAMENTO (DIA/MÊS/ANO): ____/____/____

TÉCNICOS: _____, _____, _____

TIPO DE DEFEITO	NÍVEL DE SEVERIDADE		
	BAIXA	MÉDIA	ALTA
1. TRINCAS POR FADIGA (m2)	_____	_____	_____
2. TRINCAS EM BLOCOS (m2)	_____	_____	_____
3. TRINCAS LATERAIS (m)	_____	_____	_____
4. TRINCAS LONGITUDINAIS (m)			
4a - Nas Trilhas de Roda			
Selamento (m)	_____	_____	_____
4b - Fora das Trilhas de Roda			
Selamento (m)	_____	_____	_____
5. TRINCAS POR REFLEXÃO			
Número	_____	_____	_____
Trincas Transversais (m)	_____	_____	_____
Selamento (m)	_____	_____	_____
Trincas Longitudinais (m)	_____	_____	_____
Selamento (m)	_____	_____	_____
6. TRINCAS TRANSVERSAIS (m)			
Número	_____	_____	_____
Extensão (m)	_____	_____	_____
Selamento (m)	_____	_____	_____
7. REMENDOS (Número)	_____	_____	_____
Área (m2)	_____	_____	_____

FIGURA 3.4 - Planilhas para levantamento de campo.

PLANILHA 2

LEVANTAMENTO DE CAMPO - SGPU

IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO: _____

DATA DO LEVANTAMENTO (DIA/MÊS/ANO): ____/____/____

TIPO DE DEFEITO	NÍVEL DE SEVERIDADE		
	BAIXA	MÉDIA	ALTA
8. PANELAS (Número)	_____	_____	_____
Área (m ²)	_____	_____	_____
9. DEFORMAÇÃO PERMANENTE NAS TRILHAS DE RODA (% da extensão da seção)	_____	_____	_____
10. CORRUGAÇÃO (Número)	_____	_____	_____
Área (m ²)	_____	_____	_____
11. EXSUDAÇÃO (m ²)	_____	_____	_____
12. AGREGADOS POLIDOS (m ²)	_____	_____	_____
13. DESGASTE (m ²)	_____	_____	_____
15. BOMBEAMENTO (Número)			_____
Extensão (m)			_____
16. OUTRO (Descrever)	_____		
	_____		
	_____		

OBSERVAÇÃO:

REGISTRAR "0" PARA OS TIPOS DE DETERIORAÇÃO E/OU NÍVEIS DE SEVERIDADE NÃO ENCONTRADOS.

FIGURA 3.4 - Planilhas para levantamento de campo (continuação).

PLANILHA 3

LEVANTAMENTO DE CAMPO - SGPU

IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO: _____

DATA DO LEVANTAMENTO (DIA/MÊS/ANO): ____ / ____ / ____

9. DEFORMAÇÃO PERMANENTE NAS TRILHAS DE RODA

TRILHA INTERNA			TRILHA EXTERNA		
No.	Distância (m)	Deformação (mm)	No.	Distância (m)	Deformação (mm)
1	0	_____	1	0	_____
2	15	_____	2	15	_____
3	30	_____	3	30	_____
4	45	_____	4	45	_____
5	60	_____	5	60	_____
6	75	_____	6	75	_____
7	90	_____	7	90	_____
8	105	_____	8	105	_____
9	120	_____	9	120	_____
10	135	_____	10	135	_____
11	150	_____	11	150	_____

14. DESNÍVEL (DEGRAU) ENTRE PISTA E ACOSTAMENTO

Leitura	Distância (m)	Desnível (mm)
1	0	_____
2	15	_____
3	30	_____
4	45	_____
5	60	_____
6	75	_____
7	90	_____
8	105	_____
9	120	_____
10	135	_____
11	150	_____

FIGURA 3.4 - Planilhas para levantamento de campo (continuação).

3.3 - Índices de Defeitos Combinados

3.3.1 - Introdução

Os índices de defeitos combinados podem ser determinados através de avaliações subjetivas (feitas por painéis de avaliadores) ou calculados a partir de informações sobre a extensão e severidade de diferentes formas de deterioração dos pavimentos. Portanto, quando calculados, consiste em um valor numérico obtido através da atribuição de escala de valores e fatores de ponderação para cada tipo de defeito avaliado, uma vez que certos defeitos influem mais que outros na depreciação do estado do pavimento.

Neste trabalho, a condição do pavimento é quantificada pelo Índice de Condição do Pavimento (ICP), que varia de 0 a 100 (onde 100 representa uma excelente condição do pavimento).

A quantificação da qualidade de um pavimento por um índice combinado (como por exemplo, o ICP) pode servir à gerência em nível de rede tanto para a hierarquização de trechos e a definição de estratégias de manutenção e reabilitação (ICP de cada seção) como para a previsão orçamentária e alocação de recursos (ICP médio). De uma maneira geral, quanto maior o nível de agregação das informações sobre as condições das estradas municipais mais elevado é o nível de decisão do sistema de gerência de pavimentos urbanos (FERNANDES, JR, 1996) - Figura 3.5.

FIGURA 3.5 - Correspondência entre nível de agregação das informações sobre a condição das vias municipais e o nível de decisão do SGPU (adaptada de HAAS et al., 1994)

A importância dos índices de defeitos combinados pode ser sentida pelo fato de serem utilizados como o único indicador de qualidade do pavimento em muitos sistemas de gerência de pavimentos, principalmente nos utilizados em áreas urbanas.

3.3.2 - Índice de Condição do Pavimento (ICP) Desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos

SHAHIN & KOHN (1979), pesquisadores do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, desenvolveram um método para quantificação da condição dos pavimentos através de um índice denominado ICP (do inglês PCI - *Pavement Condition Index*), que têm sido utilizado pelo sistema de gerência de pavimentos PAVER (e Micro PAVER) e também por outros sistemas derivados do PAVER, como o sistema de gerência de pavimentos MTC

(*Metropolitan Transportation Commission*) utilizado na região metropolitana de San Francisco, California (CATION et al., 1987; SMITH et al., 1987a).

O ICP varia de 0 a 100, onde o valor 100 representa a condição excelente. No cálculo do ICP são considerados 19 tipos de defeitos, os níveis de severidade (baixa, média e alta) e a densidade dos defeitos (porcentagem da área total do pavimento). A avaliação da superfície é feita por amostragem. O levantamento é feito a pé, sendo os defeitos registrados em uma planilha.

O ICP é expresso pela equação 3.1. Na seqüência, a Figura 3.6 apresenta os passos para a determinação do ICP.

$$ICP = C - \left[\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{m_i} a(T_i, S_j, D_{ij}) \right] \cdot F \quad (3.1)$$

onde:

- ICP = Índice de Condição do Pavimento.
- C = constante que depende do valor máximo desejado ($C=100$).
- a = valor de dedução, que depende do tipo (T_i), severidade (S_j) e densidade (D_{ij}) dos defeitos no pavimento.
- i = contador dos tipos de defeitos.
- j = contador do grau de severidade.
- p = número de defeitos no pavimento analisado.
- m_i = severidade do i -ésimo tipo de defeito.
- F = fator de ajuste, função do somatório total do valor de dedução (VTD) e do número de deduções.

PASSO 1: INSPEÇÃO DO PAVIMENTO. SÃO DETERMINADOS OS TIPOS DE DEFEITOS, SUA ÁREA E SEVERIDADE.

PASSO 2: DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE DEDUÇÃO (VD). O VALOR DE DEDUÇÃO DEPENDE DO TIPO, SEVERIDADE E DENSIDADE DE CADA DEFEITO. PARA O SISTEMA PAVER FORAM DESENVOLVIDOS GRÁFICOS QUE PERMITEM A OBTENÇÃO DOS VALORES DE DEDUÇÃO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE CADA DEFEITO. CADA GRÁFICO CONTÉM TRÊS CURVAS, CORRESPONDENTES AOS NÍVEIS DE SEVERIDADE BAIXA, MÉDIA E ALTA.

PASSO 3: CÁLCULO DO VALOR TOTAL DE DEDUÇÃO (VTD):

$$VTD = a + b$$

PASSO 4: AJUSTE DO VALOR TOTAL DE DEDUÇÃO (VDC). NOS PAVIMENTOS ONDE EXISTEM MUITOS TIPOS DE DEFEITOS, O VALOR TOTAL DE DEDUÇÃO PODERÁ EXCEDER O VALOR 100. PARA ESTES CASOS, UMA SÉRIE DE CURVAS FORAM ESTABELECIDAS PARA AJUSTAR O VALOR TOTAL DE DEDUÇÃO.

PASSO 5: CÁLCULO DO ICP:

$$ICP = 100 - VDC$$

FIGURA 3.6 - Passos para o cálculo do ICP (SHAHIN & KOHN, 1979).

A Tabela 3.3 apresenta a escala de valores do ICP, com os respectivos conceitos do pavimento.

TABELA 3.3 - Correspondência entre ICP e a condição do pavimento.

ICP	CONCEITO
86-100	Excelente
71-85	Muito Bom
56-70	Bom
41-55	Regular
26-40	Ruim
11-25	Muito Ruim
0-10	Péssimo

3.3.3 - Adaptação de um Índice de Condição do Pavimento (ICP) pelo Instituto do Asfalto

Outro exemplo de índice de defeitos combinados é o utilizado pelo INSTITUTO DO ASFALTO (1981), que considera a qualidade de rolamento e treze tipos de defeitos, com severidade variando em escala de 0 a 5 ou 0 a 10. A extensão dos defeitos está refletida na estimativa da severidade. Esse Índice de Condição do Pavimento (ICP), que varia de 0 a 100, onde 100 representa a condição excelente, é obtido através de uma simples subtração, onde é descontado do valor 100 a soma das avaliações dos defeitos encontrados (Figura 3.7).

PLANILHA PARA AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS		
Rodovia ou Rua: _____		Município ou Cidade: _____
Extensão: _____		Largura: _____
Tipo de Pavimento: _____		Data: _____
<u>DEFEITOS</u>		<u>AVALIAÇÃO</u>
Trincas Transversais	0-5	_____
Trincas Longitudinais	0-5	_____
Trincas por Fadiga	0-10	_____
Trincas nos Bordos	0-5	_____
Trincas em Blocos	0-5	_____
Deformação Permanente nas Trilhas de Roda	0-10	_____
Corrugação	0-5	_____
Desgaste	0-5	_____
Buracos	0-10	_____
Remendos	0-5	_____
Exsudação	0-10	_____
Agregados Polidos	0-5	_____
Bombeamento	0-10	_____
Qualidade de Rolamento	0-10	_____
Soma dos Defeitos:		_____
Índice de Condição do Pavimento:		
		ICP = 100 - Soma dos Defeitos
		ICP = 100 - _____
		ICP = _____

FIGURA 3.7 - Planilha para avaliação da condição dos pavimentos (adaptada de INSTITUTO DO ASFALTO, 1981).

3.3.4 - Índice de Gravidade Global (IGG)

No Brasil, um índice combinado muito utilizado é o Índice de Gravidade Global (IGG), definido como “um parâmetro numérico que permite a avaliação de deterioração de segmentos rodoviários, cuja concepção, além de refletir o estado de cada segmento considerado isoladamente, permite a comparação relativa entre os estados apresentados por segmentos distintos” (PEREIRA 1972 e 1976).

O cálculo do IGG é baseado no procedimento DNER-PRO 08/94 (Avaliação Objetiva de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos) que estabelece uma metodologia para a quantificação numérica dos defeitos. A avaliação da superfície é feita por amostragem. O levantamento é feito a pé, onde são registrados, em uma planilha, os tipos e severidades dos defeitos sem a avaliação da extensão.

Para o cálculo do IGG são consideradas dez ocorrências ou eventos distintos. Oito desses eventos representam tipos individuais de defeitos (trincas, afundamentos, corrugação, escorregamento, exsudação, desgaste, placas e remendos). Os outros dois são derivados da mensuração das flechas nas trilhas de roda (média e variância). Dessa forma, o valor do IGG reflete o efeito conjunto de uma ampla gama de deficiências estruturais sobre o estado da superfície do pavimento (PEREIRA, 1976).

Cada evento considerado isoladamente corresponde a um valor específico chamado Índice de Gravidade Individual (IGI), estabelecido em função do peso ou “nível de responsabilidade” de cada evento. Logo, para cada evento, foi conferido um fator de ponderação.

De acordo com a Norma DNER-PRO 08/94, o IGG é calculado através das seguintes equações:

$$f_r = \frac{100 \cdot f_a}{n} \quad (3.2)$$

$$IGI = f_r \cdot f_p \quad (3.3)$$

$$IGG = \sum IGI \quad (3.4)$$

onde:

n = número de estações inventariadas;

f_p = fator de ponderação;

IGI = Índice de Gravidade Individual;

IGG = Índice de Gravidade Global;

f_a = frequência absoluta (número de vezes em que a ocorrência foi verificada);

f_r = frequência relativa (número de vezes em que a ocorrência é verificada em relação ao número total de estações).

Com a finalidade de conferir ao pavimento um conceito que retrate o grau de degradação verificado, o DNER estabeleceu a correspondência indicada na Tabela 3.4.

TABELA 3.4 - Valores limites de IGG.

IGG	CONCEITO
0-20	Bom
20-80	Regular
80-150	Mau
150-500	Péssimo

As principais limitações do Índice de Gravidade Global (IGG) são:

- não leva em conta a severidade, apenas o tipo de defeito (exceto para as trincas);
- considera apenas o número de ocorrências e não a extensão.

3.4 - Manutenção e Reabilitação dos Pavimentos

3.4.1 - Introdução

À medida em que os pavimentos se deterioram aumenta a necessidade de medidas capazes de restabelecer o conforto do rolamento e a segurança, embora, via de regra, a disponibilidade de recursos não acompanhe a demanda. Neste contexto, os organismos rodoviários e os municípios dispostos a enfrentar o problema não têm outra saída a não ser a adoção de métodos mais eficientes para a recuperação das áreas afetadas.

Dada uma condição atual de um pavimento, existe uma estratégia (conjunto de atividades, seja de manutenção ou de reabilitação) mais apropriada, capaz de resultar em uma vida em serviço mais longa e em maior capacidade de suporte das cargas do tráfego. Para tanto, a análise de estratégias deve garantir que a atividade de manutenção mais adequada seja aplicada no devido momento.

As ações normalmente consideradas nas análises de estratégias são:

1. *Manutenção Corretiva*: remendos superficiais, reparos localizados, impermeabilização de trincas e outras ações de baixo custo unitário. Para as

vias em boas condições, a manutenção corretiva (ou de rotina) é a melhor maneira de utilização dos recursos;

2. *Manutenção Preventiva*: atividades de manutenção corretiva, rejuvenescimento da capa, recapeamentos delgados. Tem por objetivo conter a deterioração em seu estágio inicial;

3. *Ação Postergada*: apenas execução de remendos inadiáveis. Indicada para seções que estão além do ponto de eficácia da manutenção preventiva, mas que ainda não atingiram a necessidade de reabilitação;

4. *Reabilitação*: atividades de manutenção de rotina e preventiva, recapeamento estrutural, reciclagem. Devem ser objeto de estudos de priorização, uma vez que os recursos disponíveis são, geralmente, inferiores às necessidades;

5. *Reconstrução*: atividades de reabilitação quando necessárias, remoção e substituição de toda estrutura do pavimento, melhoramentos de traçado, de segurança e de capacidade de tráfego. Também devem ser objeto de estudos de priorização.

Em razão de regras para o financiamento de melhorias de estradas e ruas, muitos países fazem severa distinção entre as atividades de manutenção e de reabilitação de pavimentos. Nos Estados Unidos, por exemplo, alguns estados consideram recapeamentos com espessura inferior a 2,5 cm como atividade de manutenção. Segundo o Instituto do Asfalto (1989), manutenção de pavimentos consiste nas atividades com finalidade de rejuvenescimento e proteção das superfícies existentes, incluindo os recapeamentos com espessura inferior a 2,0 cm e os remendos e reparos de pequena extensão.

De uma maneira geral, as atividades de manutenção podem ser divididas em duas categorias: preventiva e corretiva. A manutenção preventiva consiste no grupo de atividades realizadas para proteger o pavimento e reduzir a sua taxa de deterioração, enquanto que as atividades da manutenção corretiva visam eliminar um determinado tipo de defeito. Algumas atividades de manutenção servem às duas categorias de manutenção.

Embora as atividades de manutenção ajudem a prolongar a vida em serviço, os pavimentos precisam, mais cedo ou mais tarde, de atividades de reabilitação. Quando o período de projeto é excedido, seja na idade ou no número de repetições das solicitações do tráfego, há necessidade de atividades de reabilitação, que consistem de trabalhos mais efetivos, visando a recuperação, o reforço ou a adaptação de pavimentos deficientes.

3.4.2 - Atividades de Manutenção

Consiste, geralmente, de remendos, tratamentos superficiais e recapeamentos delgados. A detecção e o reparo dos defeitos nas fases iniciais representam, sem dúvida alguma, o trabalho mais importante desempenhado pela equipe de manutenção, ou seja, aquele que resulta na melhor utilização dos recursos disponíveis. As trincas, por exemplo, se não seladas logo, podem evoluir rapidamente para sérios defeitos e, conseqüentemente, aumentar os custos de operação dos veículos e os custos de manutenção e reabilitação.

As capas selantes são atividades que consistem na aplicação apenas de ligante asfáltico ou de ligante mais agregados, continuamente sobre a superfície do pavimento, com a finalidade de rejuvenescer o revestimento asfáltico,

restabelecer o coeficiente de atrito pneu-pavimento, selar trincas com pequena abertura, impedir a entrada de água na estrutura do pavimento e retardar o desgaste causado por intemperismo. Os tipos mais comuns de capas selantes são: selo asfáltico (“fog seal”), tratamento superficial (“chip seal”) e lama asfáltica (“slurry seal”):

- capa selante ("seal coat"): fina camada de tratamento superficial (com pó de pedra, que resulta numa espessura menor que 3,8 mm) usada para impermeabilizar e melhorar a textura de uma camada de revestimento (camada de desgaste). Geralmente é utilizada emulsão asfáltica de ruptura média, à taxa de 0,5 a 1,0 l/m² (AUGUSTO JR. et al., 1992). A camada de agregado deve ser compactada com rolo leve;
- selo asfáltico impermeabilizante ("fog seal"): leve aplicação de emulsão asfáltica de cura lenta, diluída em água e sem agregado mineral, usada para rejuvenescer revestimentos asfálticos oxidados (coloração cinza claro no lugar da coloração preta ou cinza escuro, embora quando são utilizados agregados de rochas basálticas não ocorre mudança de cor) e selar trincas com pequena abertura (severidade baixa) e vazios superficiais. Normalmente, aplica-se uma taxa de 0,45 a 0,70 l/m² de material diluído (50% de água). Esta alternativa é viável para vias que podem ser fechadas ao tráfego durante as 4 a 6 horas necessárias para a ruptura da emulsão e desenvolvimento de atrito suficiente entre pneu e pavimento. Apresenta baixo custo e é capaz de retardar a necessidade de tratamento superficial em um ou dois anos;
- tratamentos superficiais (“chip seals”): camadas formadas por aplicações de ligante e agregados, em que a dimensão máxima do agregado de cada camada sucessiva é, geralmente, a metade da dimensão máxima do

agregado da camada subjacente. A espessura total é aproximadamente igual ao diâmetro máximo das partículas da primeira camada. Normalmente, aplica-se o ligante (cimento asfáltico ou emulsões, pois os asfaltos diluídos, muito usados no passado, têm sido pouco utilizados em razão de preocupações ambientais) e, em seguida, lança-se o agregado, que deve ser compactado imediatamente. Um tratamento superficial múltiplo contribui para a resistência do pavimento (impermeabiliza e resiste à abrasão superficial causada pelo tráfego), mas não se considera esse acréscimo em termos de aumento do número estrutural;

- **lama selante de emulsão asfáltica ou lama asfáltica ("slurry seal")**: mistura homogênea de emulsão asfáltica de ruptura lenta, agregados miúdos bem graduados (passando totalmente na peneira de 4,8 mm e com 5 a 15% passando na peneira de 0,075 mm) e material de preenchimento mineral ("filler", de preferência cimento Portland ou cal, passando 100% na peneira de 2,0 mm e de 65 a 100% na peneira de 0,075 mm), com adição de água para produzir a consistência fluida (de lama). A mistura é feita, geralmente, em equipamentos especiais (caminhão com silos para os componentes mais um misturador), que aplicam um material com espessura entre 1,5 e 3 mm (existem três graduações de lama asfáltica, utilizadas para diferentes propósitos: preenchimento de trincas, selagem de revestimento com textura média e duas aplicações sobre revestimento muito áspero).

3.4.3 - Atividades de Reabilitação

Dentre as atividades de reabilitação mais utilizadas estão a fresagem, a reciclagem, o recapeamento estrutural (espesso) e a reconstrução:

- fresagem: segundo ROBERTS et al. (1991), com o desenvolvimento de equipamentos durante a década de 80, nos Estados Unidos a fresagem já é a principal forma de remoção do revestimento antigo, tanto para reciclagem como para acerto da superfície a ser recapeada;
- reciclagem: técnica utilizada para renovar e rejuvenescer misturas asfálticas envelhecidas. Serve, também, para corrigir outros defeitos, como pequenas corrugações, agregados polidos, exsudação. Não é efetiva para corrigir defeitos como trincas por fadiga ou panelas. O revestimento asfáltico é escarificado, aquecido no local, misturado, lançado e compactado. Normalmente são adicionados agentes recicladores ou ligantes, que têm por função garantir as propriedades da nova mistura. Se forem adicionados agregados para ajuste da curva granulométrica e cimento asfáltico novo à mistura, esta poderá ser utilizada como revestimento. Caso contrário, a camada asfáltica resultante será apenas uma camada de ligação (“binder”). O aquecimento e a escarificação do revestimento existente inibem a reflexão de trincas e proporcionam forte ligação entre o pavimento antigo e o recapeamento;
- recapeamento estrutural: construção de uma ou mais camadas asfálticas sobre o pavimento existente, incluindo, geralmente, uma camada para corrigir o nivelamento do pavimento velho, seguida de camada (ou camadas) com espessura uniforme;
- reconstrução: necessária quando o pavimento não é reabilitado a tempo e começa a deteriorar-se rapidamente. Muito freqüentemente a causa dos defeitos é a drenagem inadequada, com a reconstrução representando a única opção para a melhoria do sistema de drenagem. No passado, a reconstrução consistia apenas na utilização de novos materiais, mas

recentemente tem sido muito utilizada a reciclagem. Neste caso, a reciclagem (tanto a quente, para volume de tráfego pesado, como a frio, para volume de tráfego leve) consiste na utilização da mistura antiga (ligante e agregados) combinada com ligantes novos e agentes recicladores para produzir uma base asfáltica, que deve ser revestida por concreto asfáltico ou tratamento superficial duplo.

3.4.4 - Definição das Estratégias de Manutenção e Reabilitação

A Tabela 3.5 apresenta um resumo das atividades de manutenção e reabilitação mais indicadas para os quinze tipos de defeitos considerados no Manual de Identificação de Defeitos dos Pavimentos do Programa SHRP. É importante frisar que a manutenção e reabilitação dos pavimentos de vias urbanas apresentam conotações particulares, que as tornam mais complexas que as intervenções em pavimentos rodoviários. Esse fato é causado por:

- restrições operacionais, em que a necessidade de se manter o fluxo de veículos (ao trabalho, ao estudo, ao lazer etc.) durante as obras impede, ou restringe em muito, que sejam reconstruídos os pavimentos, mesmo quando estes apresentam estrutura inadequada e alto grau de deterioração;
- restrições geométricas, referentes à altura dos meios-fios e passeios, que limitam o reforço do pavimento;
- interferências com concessionárias de serviços públicos.

Após a avaliação dos pavimentos, os valores dos índices combinados também podem dar a indicação sobre que estratégia de manutenção e reabilitação adotar, conforme apresentado na Figura 3.8 e na Tabela 3.6.

TABELA 3.5 - Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (SHRP, 1993b).

DEFEITO	CAUSAS DOS DEFEITOS	ATIVIDADES DE M&R
1 TRINCAS POR FADIGA DO REVESTIMENTO	• Problema estrutural (espessuras inadequadas) • Enfraquecimento estrutural durante o período de chuvas	• Manutenção: remendos (reparo permanente, no caso de problemas localizados) ou tratamento superficial e lama asfáltica (reparos temporários) • Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural, no caso de áreas extensas) • Reconstrução: novos materiais ou reciclados • Obs: geralmente associadas à saturação do subleito, sub-base ou base, as trincas por fadiga podem exigir a remoção do material saturado e a instalação de drenagem.
2 TRINCAS EM BLOCOS	• Contração de origem térmica (revestimento formado por misturas asfálticas com agregados finos e alto teor de asfalto com baixa penetração) ou de variação do teor de umidade (camadas inferiores), ou ainda em razão do envelhecimento (perda de elasticidade do revestimento causada por oxidação em virtude de tempo de mistura muito longo, temperatura de mistura elevada ou período de armazenamento muito longo) • Contração de bases tratadas com cimento ou com utilização de solos tropicais	• Manutenção: aplicação de selante (emulsão asfáltica seguida por tratamento superficial, lama asfáltica ou recapeamento delgado) • Reabilitação: reciclagem ou recapeamento (nos estágios avançados)
3 TRINCAS LATERAIS	• Compactação insuficiente • Drenagem deficiente	• Selante para evitar entrada de água e conseqüente enfraquecimento estrutural
4 TRINCAS LONGITUDINAIS	• Má execução de juntas longitudinais de separação entre duas faixas de tráfego (menor densidade e menor resistência à tração) • Contração do revestimento	• Manutenção: trincas com abertura menor que 3 mm não precisam ser preenchidas; trincas com abertura entre 3 e 20 mm devem ser limpas, com aplicação de selante (asfalto modificado com borracha ou elastômeros) e lançamento de areia sobre o selante • Reabilitação: trincas com abertura maior que 20 mm devem ser reparadas com remendo ou, no caso de estar previsto um recapeamento, devem ser preenchidas com concreto asfáltico de granulometria fina

TABELA 3.5 - Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (continuação).

DEFEITO	CAUSAS DOS DEFEITOS	ATIVIDADES DE M&R
5 TRINCAS POR REFLEXÃO	Movimentação de placas rígidas subjacentes (pavimento rígido, bases tratadas com cimento ou cal, bases de solos arenosos finos lateríticos)	- Manutenção: remendos e tratamento superficial e lama asfáltica (reparos temporários) - Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural: têm sido utilizadas geomembranas entre o pavimento antigo e o reforço para absorção do movimento horizontal das camadas inferiores; outra técnica consiste na reciclagem das porções mais superficiais do pavimento antigo, de modo a eliminar o padrão das trincas e, dessa forma, ao menos retardar o aparecimento das trincas por reflexão) - Obs: trincas com abertura menor que 3 mm não precisam ser preenchidas; trincas com abertura entre 3 e 20 mm devem ser limpas, com aplicação de selante (asfalto modificado com borracha ou elastômeros) e lançamento de areia seca sobre o selante; trincas com abertura maior que 20 mm devem ser reparadas com remendo ou, no caso de estar previsto um recapeamento, devem ser preenchidas com concreto asfáltico de granulometria fina.
6 TRINCAS TRANSVERSAIS	Contração térmica do revestimento e hidráulica das outras camadas	Selante para evitar entrada de água e conseqüente enfraquecimento estrutural
7 REMENDOS	-	Obs: o simples preenchimento de panelas é chamado de "tapa-buraco"
8 PANELAS	- Falha estrutural (revestimento com pequena espessura ou baixa capacidade de suporte das camadas inferiores) - Dosagem da mistura (falta de ligante asfáltico) - Problema construtivo (drenagem inadequada)	- Manutenção: remendos (reparo permanente) - Reabilitação: recapeamento (reforço estrutural) após a execução dos remendos) - Obs: as atividades de M&R devem, sempre, ser precedidas de instalação de drenagem

TABELA 3.5 - Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (continuação).

DEFEITO	CAUSAS DOS DEFEITOS	ATIVIDADES DE M&R
9 DEFORMAÇÃO PERMANENTE	• Dimensionamento inadequado (espessuras insuficientes) • Dosagem da mistura (falta de estabilidade, que resulta em deformação plástica em razão de elevado teor de ligante, excesso de material de preenchimento e uso de agregados arredondados) • Compactação inadequada e posterior consolidação pelas cargas do tráfego • Cisalhamento (fluência plástica) causada por enfraquecimento em razão de infiltração de água	• Reabilitação: reciclagem, recapeamento delgado (nas fases iniciais, precedido pelo preenchimento das depressões com concreto asfáltico) ou recapeamento espesso (reforço estrutural) • Reconstrução: novos materiais ou reciclados
10 CORRUGAÇÃO	• Falha estrutural • Dosagem da mistura (falta de estabilidade, em razão de excesso de asfalto, ligante asfáltico pouco viscoso, excesso de agregados finos, agregados arredondados, com textura lisa ou granulometria inadequada) • Problema construtivo (fraca ligação entre base e revestimento)	• Manutenção: remendos • Reabilitação: reciclagem (fresagem dos revestimentos com superior a 5 cm, seguida de aplicação de capa selante ou concreto asfáltico); recapeamento delgado (sobre superfície regularizada: escarificação e mistura com material da base e compactação antes do lançamento da nova camada de revestimento) ou recapeamento espesso (reforço estrutural) • Reconstrução: novos materiais ou reciclados
11 EXSUDAÇÃO	• Excesso de ligante betuminoso • Baixo índice de vazios da mistura asfáltica • Compactação pelo tráfego (má dosagem)	• Manutenção: tratamento superficial (reparo temporário) ou aplicação de areia quente, que deve imediatamente compactada e varrida após o resfriamento • Reabilitação: reciclagem
12 AGREGADOS POLIDOS	• Ação abrasiva do tráfego, que elimina as asperezas e angularidades das partículas • Dosagem da mistura (agregados com pequena resistência à abrasão, como por exemplo agregados de rochas calcárias)	• Manutenção: tratamento superficial ou lama asfáltica • Reabilitação: reciclagem ou recapeamento delgado • Reconstrução: novos materiais ou reciclados

TABELA 3.5 - Resumo das causas dos defeitos considerados no Programa SHRP e principais atividades de manutenção e reabilitação (continuação).

DEFEITO	CAUSAS DOS DEFEITOS	ATIVIDADES DE M&R
13 DESGASTE	• Dosagem da mistura (falta de ligante) • Problema construtivo (superaquecimento da mistura, falta de compactação, que resulta em envelhecimento precoce, agregados sujos, úmido ou com pequena resistência à abrasão; segregação, com a ausência de agregados miúdos, há apenas poucos pontos de ligação entre partículas da matriz de agregados graúdos, facilitando a oxidação) • Perda de adesividade ligante-agregado por ação de produtos químicos, água ou abrasão • Abertura ao tráfego antes que o ligante tivesse aderido ao agregado • Execução em condições meteorológicas desfavoráveis	• Manutenção: capa selante (reparo temporário), tratamento superficial ou lama asfáltica • Reabilitação: reciclagem ou recapeamento delgado
14 DESNÍVEL (DEGRAU) ENTRE PISTA E ACOSTAMENTO	• Erosão do acostamento • Consolidação do acostamento	• Recomposição do acostamento
15 BOMBEAMENTO	• Existência de água nos vazios sob o revestimento • Pressão exercida pelas cargas do tráfego	• Drenagem

FIGURA 3.8 - Estratégia de manutenção e reabilitação mais indicada com base no valor do índice de condição dos pavimentos (INSTITUTO DO ASFALTO, 1989).

TABELA 3.6 - Detalhe da estratégia de manutenção e reabilitação mais indicada com base no valor do índice de condição dos pavimentos (adaptada de INSTITUTO DO ASFALTO, 1989).

ESTRATÉGIA	ICP	COMENTÁRIO
Reconstrução ou reciclagem em 2 anos	0 - 20	Pavimento em condição ruim a muito ruim, com trincas por fadiga e deformação permanente severas e extensas. Condição de rolamento ruim.
Reconstrução ou reciclagem em 2 a 3 anos	20 - 30	Pavimento em condição ruim, com trincas por fadiga moderadas e deformação permanente severa e extensa. Condição de rolamento ruim.
Recapeamento, reciclagem ou reconstrução em 3 a 4 anos	30 - 40	Pavimento em condição de regular a ruim, com freqüentes trincas por fadiga moderadas e extensa deformação permanente com severidade média. Condição de rolamento ruim a regular, com superfície moderadamente irregular.
Reconstrução em 4 a 5 anos ou revestimento novo, com nivelamento da superfície, em 2 anos	40 - 50	Pavimento em condição de regular a ruim, com eventuais trincas por fadiga com severidade média e freqüente deformação permanente com severidade média. Condição de rolamento regular a ruim e superfície moderadamente irregular.
Novo revestimento em 3 anos	50 - 65	Pavimento em condição regular, com eventuais trincas por fadiga e deformação permanente, ambas com severidade baixa a média. Condição de rolamento regular e superfície levemente irregular.
Novo revestimento em 3 a 5 anos	65 - 80	Pavimento em boa condição, com trincas de pequena abertura freqüentes e leve deformação permanente. Condição de rolamento boa, com algumas seções pouco irregulares.
Manutenção de rotina somente	80 - 90	Pavimento em boa condição, com trincas incipientes e leve deformação permanente. Condição de rolamento boa, com algumas seções levemente irregulares.
Não fazer nada	90 - 100	Pavimento em excelente condição, com poucas trincas. Condição de rolamento excelente, com poucas áreas apresentando ligeira distorção.

O sistema de gerência de pavimentos urbanos URMS utiliza “árvores de decisão” na escolha das estratégias de manutenção e reabilitação para toda a rede viária (Figura 3.9). As estratégias podem ser definidas, por exemplo, a partir de: condição dos pavimentos, representada pelo ICP; da idade desde a última intervenção; e do volume de tráfego médio diário (VDM).

Figura 3.9 - Exemplo de “árvore de decisão” para seleção de estratégias de manutenção e reabilitação (CHEN et al., 1993).

A “árvore de decisão” mostrada na Figura 3.10 fornece a atividade mais adequada para cada tipo de deterioração. Consideremos, por exemplo, que uma trinca por fadiga possa ser descrita em termos de severidade (baixa, média e alta), extensão (baixa e alta) e volume de tráfego (leve, médio e pesado). A combinação dos três fatores é igual a dezoito. Logo, poderiam ser consideradas até dezoito diferentes atividades para uma seção com trincamento por fadiga. Se uma seção apresentar mais de um tipo de deterioração, o que geralmente acontece, considera-se a atividade de manutenção que englobar todas as outras.

Figura 3.10 - Exemplo de “árvore de decisão” para seleção de métodos de reparos para cada tipo de deterioração (CHEN et al., 1993).

4 - Estudo Piloto

Na definição da área de estudo, optou-se pelo município de São Carlos - SP, considerando-se alguns aspectos como a distância entre a área pesquisada e a Universidade e a facilidade de acesso para os trabalhos de campo. O município de São Carlos, com aproximadamente 180.000 habitantes, está situado próximo à região central do estado de São Paulo, possuindo uma área total de 1.132 km², dos quais apenas 55 km² correspondem à área urbana (Figura 4.1).

FIGURA 4.1 - Mapa digitalizado do sistema viário urbano de São Carlos (SILVA et al., 1996).

4.1 - Informações Gerais da Rede Viária de São Carlos

Para obtenção das informações necessárias ao desenvolvimento desta pesquisa foi elaborado um questionário, apresentado no Anexo A, entregue à administração municipal de São Carlos em agosto de 1996 e que tinha por itens principais: extensão da malha viária; situação do banco de dados; levantamento da condição dos pavimentos; práticas de manutenção e reabilitação; estrutura do departamento responsável pela malha viária urbana; além de informações mais detalhadas sobre 13 seções escolhidas para o trabalho de campo.

Apesar de grande insistência, não foi possível a obtenção de qualquer informação junto à Prefeitura Municipal de São Carlos (PMSC) até o final de 1996. Em 1997, com a posse de nova administração municipal, o questionário foi novamente enviado, obtendo-se as informações descritas a seguir:

1. foi criada, em 1997, a Secretaria de Obras e Serviços Urbanos, que possui sob seu comando a Divisão de Vias Públicas, órgão responsável pela gerência da malha viária. A Divisão de Vias Públicas, em serviços específicos, tem sido amparada pela FIPAI (Fundação para o Incremento da Pesquisa e Aperfeiçoamento Industrial), órgão ligado à Universidade de São Paulo, que atesta os projetos e serviços executados com relação à qualidade;
2. de acordo com dados fornecidos pela Assessoria de Planejamento (ASPLA) da Prefeitura Municipal de São Carlos (PMSC), a cidade apresenta em torno de 8.000.000 m² de vias urbanas, dos quais 6.000.000 m² são pavimentados (75% da malha viária). Considerando-se uma largura média de 8,5 m, a extensão aproximada da rede municipal pavimentada resulta em aproximadamente 700 km;

3. a cidade de São Carlos apresenta, atualmente, grande parte de sua malha viária com elevado grau de deterioração, devido principalmente à falta de manutenção periódica. Estima-se que nenhuma atividade de manutenção foi realizada nos últimos dois anos;
4. em caráter de emergência, a cidade foi dividida em seis setores, sendo que em cada setor atua uma empreiteira executando serviços de “tapa-buracos”. Essa medida foi tomada buscando melhorar a condição da malha viária num curto espaço de tempo, garantindo pelo menos o fluxo normal, sem grandes prejuízos aos usuários;
5. a Divisão de Vias Públicas, em conjunto com o Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), pretende fazer um levantamento completo da malha viária (pavimentada ou não) para a identificação de pontos críticos. O SAAE já possui cadastradas todas as redes alocadas sob as vias públicas;
6. estão previstos levantamentos periódicos e, ao mesmo tempo, a execução de obras para eliminação dos pontos críticos. Atualmente, existe um Serviço de Atendimento à População, que pode informar sobre a necessidade de serviços emergenciais;
7. quanto à seleção das ruas para manutenção e reabilitação, procura-se iniciar os serviços pelos corredores com maior intensidade de trânsito, passando-se, a seguir, às vias secundárias. A definição do tipo de serviço a executar é feita por funcionários experientes, que já conhecem bem a malha viária. Os serviços executados consistem, basicamente, em tapa-buraco e recapeamento, executados por empresas contratadas. Está prevista a reativação de uma pequena usina de asfalto;

8. as valas abertas para manutenção, remodelação e ampliação da rede de água e esgoto são de inteira responsabilidade do SAAE.

A situação da cidade de São Carlos, provavelmente igual à da maioria das cidades brasileiras, mostra que a cada nova administração não se procura dar continuidade ao trabalho desenvolvido anteriormente. Há, sempre, uma enorme dificuldade para obtenção de informações: não existem banco de dados específicos para a malha viária e os mapas, que constituem uma importante fonte de informação, estão quase sempre desatualizados.

Quanto à gerência das atividades de pavimentação, a seleção das ruas para manutenção e reabilitação geralmente ocorre a partir da reclamação dos moradores, sendo dada maior prioridade para as ruas com maior volume de tráfego. As atividades de manutenção realizadas pela prefeitura se resumem às operações “tapa-buracos”, geralmente executadas sem controle tecnológico e sem acompanhamento dos custos ao longo do tempo.

4.2 - Inventário das Seções Seleccionadas para o Estudo Piloto

Para a seleção das seções do estudo piloto procurou-se abranger diferentes características, tais como idade do revestimento (original ou recapeamento), tipo de pavimento, volume de tráfego, classificação funcional e condição da superfície de rolamento, levando-se em consideração também as limitações de tempo e recursos para o desenvolvimento do trabalho. As tabelas 4.1 e 4.2 apresentam um resumo das informações do inventário das seções seleccionadas.

TABELA 4.1 - Identificação, dimensões e localização das seções analisadas.

SEÇÃO	EXTENSÃO (m)	LARGURA (m)	LOCALIZAÇÃO
1	99	8,5	R. Conselheiro João Alfredo Início: R. Paulino Botelho de A. Sampaio Fim : R. Victor M. de Souza Lima
2	77	7,7	R. Paulino Botelho de A. Sampaio Início: Av. Miguel Petroni Fim : R. Prof. Alice Josephina D'anna Juliano
3	240	8,6	Av. Marginal Início: Saída da EESC-USP Fim : R. Carlos de Camargo Salles
4	72	9,6	R. Luiz Vaz Toledo Pizza Início: R. Miguel Alves Margarido Fim : Al. Crisandálias
5	60	8,6	R. Luiz Vaz Toledo Pizza Início: R. Miguel Alves Margarido Fim : Av. Marginal
6	90	8,6	Al. Crisântemos Início: R. Aldino Del Nero Fim : Av. Marginal
7	105	8,7	Rua Miguel Petroni Início: "Rotatória" Fim : "Bifurcação" (entrada p/ Conj. Hab. S. Carlos IV)
8	152	7,5	R. João de Guzzi Início: R. Luiz P. de Araújo Ferraz Fim : "Rotatória"
9	51	7,7	R. Antônio Blanco Início: R. Emílio Moro Fim : R. São Joaquim
10	87	7,8	R. Antônio Blanco Início: R. São Joaquim Fim : R. D. Alexandrina
11	129	8,9	R. Prof. José F. Camargo Início: R. Rotary Club Fim : R. Sérgio Fernando Paranhos Fleury
12	89	10,0	Av. São Carlos Início: R. 28 de Setembro Fim : Av. Dr. Carlos Botelho
13	84	7,8	Av. XV de Novembro Início: R. Episcopal Fim : R. 9 de Julho

TABELA 4.2 - Classificação funcional e histórico das intervenções.

SEÇÃO	CLASSE FUNCIONAL	ANO DE CONSTRUÇÃO	ANO DA ÚLTIMA ATIVIDADE DE M&R
1	L	1967	1991
2	C	1967	1992
3	A	1977	1996
4	C	1977	1996
5	C	1977	1996
6	C	1989	1995
7	C	1989	1995
8	C	1993	1995
9	C	1972	1993
10	C	1972	1993
11	C	1967	1991
12	A	1952	1995
13	C	1967	1993

As informações sobre as características físicas foram levantadas diretamente no campo, a classificação funcional (Arterial, Coletora e Local) foi feita de acordo com o apresentado anteriormente e as épocas da construção e das intervenções nos pavimentos foram estimadas após entrevistas com moradores e técnicos da prefeitura.

O levantamento dos volumes de tráfego nas seções selecionadas foi realizado através de contagem e classificação dos veículos em diferentes períodos. Considerou-se caminhões leves os veículos com eixo traseiro simples (“toco”), caminhões médios os veículos com eixo traseiro duplo (“trucado”) e caminhões pesados os veículos articulados. O nível de solicitação dos veículos de carga foi estimado pelos membros da equipe que realizou o levantamento do tráfego (bolsistas de iniciação científica e monitores do Departamento de Transportes da EESC-USP). A Tabela 4.3 apresenta um resumo dos valores obtidos na contagem do tráfego nas seções analisadas (volume diário médio por tipo de veículo e porcentagem de caminhões e ônibus).

TABELA 4.3 - Volume diário médio por tipo de veículo e porcentagem de caminhões e ônibus.

TIPO DE VEÍCULO			SEÇÃO												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
AUTOMÓVEIS			410	1975	11026	4639	5076	3800	4675	3360	5762	3696	11394	13650	5520
ÔNIBUS			-	425	129	206	206	120	165	80	335	168	228	750	180
C	LEVES	CARGA LEVE	36	50	368	155	156	-	275	320	402	252	133	450	-
A		CARGA MÉDIA	4	50	147	-	31	80	165	-	67	42	76	60	240
M		CARGA PESADA	-	-	37	-	-	-	-	80	-	-	40	30	60
I	MÉDIOS	CARGA LEVE	-	-	146	-	31	-	55	-	134	42	38	60	-
N		CARGA MÉDIA	-	-	110	-	-	-	110	-	-	-	34	-	-
H		CARGA PESADA	-	-	37	-	-	-	-	80	-	-	57	-	-
Õ	PESADOS	CARGA LEVE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E		CARGA MÉDIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S		CARGA PESADA	-	-	-	-	-	-	55	80	-	-	-	-	-
VDM Médio (2 sentidos)			450	2500	12000	5000	5500	4000	5500	4000	6700	4200	12000	15000	6000
% de CAMINHÕES e ÔNIBUS			9	21	8	7	8	5	15	16	14	12	5	9	8

4.3 - Avaliação dos Segmentos do Estudo Piloto

4.3.1 - Avaliação Subjetiva da Superfície de Rolamento

Com um painel composto por doze avaliadores, alunos de pós-graduação e bolsistas de iniciação científica do Departamento de Transportes da EESC-USP, foi realizada a avaliação subjetiva das seções do estudo piloto, em que a equipe de avaliadores atribuiu notas ao pavimento com base na inspeção visual, através de caminhamento.

Foram obedecidas as condições impostas pela norma do DNER (DNER-PRO 007/94), ressaltando-se que foi dado um peso muito menor à irregularidade longitudinal do que normalmente é dado quando da avaliação de pavimentos de rodovias. Além disso, a avaliação subjetiva visou a determinação do Índice de Condição do Pavimento (ICP), utilizando uma escala de valores variando de 0 a 100 (Figura 4.2). Os resultados das avaliações subjetivas são mostrados na Tabela 4.4.

ACEITÁVEL?		
Sim	☐	100 80 60 40 20 0
Não	☐	
Indeciso	☐	
Identificação da Seção: _____		NOTA: _____
Avaliador: _____		
Data: _____	Hora: _____	Veículo: _____

FIGURA 4.2 - Ficha para avaliação do ICP.

TABELA 4.4 - Avaliação subjetiva da superfície (ICP).

AVALIADOR	SEÇÃO 1	SEÇÃO 2	SEÇÃO 3	SEÇÃO 4	SEÇÃO 5	SEÇÃO 6	SEÇÃO 7	SEÇÃO 8	SEÇÃO 9	SEÇÃO 10	SEÇÃO 11	SEÇÃO 12	SEÇÃO 13
1	65	40	30	40	65	65	90	60	80	70	50	90	55
2	50	40	35	35	40	35	70	40	65	65	55	60	50
3	65	70	75	40	40	70	90	75	90	80	70	80	50
4	50	30	40	30	50	50	80	60	90	80	70	80	70
5	70	40	30	20	30	60	85	30	90	90	70	75	75
6	60	50	40	40	45	50	90	55	90	80	70	70	60
7	45	40	40	45	50	35	70	40	65	60	60	55	55
8	55	35	25	5	35	15	75	45	80	75	65	40	40
9	55	70	65	40	60	40	90	50	85	85	60	65	70
10	50	55	40	35	35	25	70	50	80	75	75	55	45
11	40	55	65	40	50	40	80	65	70	55	50	60	40
12	40	45	40	35	40	30	80	50	80	65	60	70	35
MÉDIA	53,8	47,5	43,8	33,8	45,0	42,9	80,8	51,7	80,4	73,3	62,9	66,7	53,8
DESVIO	9,8	12,9	15,8	11,1	10,4	16,6	8,2	12,3	9,4	10,5	8,4	13,7	13,0
VARIÂNCIA	96,0	165,9	250,6	123,3	109,1	274,8	67,4	151,5	88,4	110,6	70,3	187,9	168,8

As discrepâncias entre as avaliações individuais foram altas, como pode ser observado na Tabela 4.4 (elevado desvio-padrão em todas as seções) e na Figura 4.3, evidenciando o alto grau de subjetividade das avaliações da condição dos pavimentos.

FIGURA 4.3 - Discrepância entre avaliações individuais.

4.3.2 - Avaliação Objetiva da Superfície do Pavimento

As avaliações objetivas expressam o estado de deterioração de um pavimento a partir da quantificação numérica da extensão e da determinação do nível de severidade de diferentes tipos de defeitos.

Neste trabalho, a avaliação objetiva foi realizada através de inspeção visual, mediante caminhamento nas seções. O Manual de Identificação de Defeitos dos Pavimentos adotado no Programa SHRP (SHRP, 1993b) foi usado como

referência para a identificação e avaliação dos defeitos encontrados quanto à extensão e à severidade.

Com o uso de trenas, cada seção (quarteirão) foi inicialmente dividida em trechos de 15 metros. O levantamento compreendeu a marcação das áreas afetadas pelos diferentes tipos de defeitos ocorrentes, tomando-se o cuidado de considerar como área afetada, em planta, pelo menos 20 cm além da manifestação do defeito na superfície do pavimento. Os retângulos envoltórios foram marcados a giz e transcritos para formulários apropriados (“mapeamento”), conforme apresentado na Figura 4.4. Nas seções com tráfego intenso, procedeu-se o levantamento dos defeitos através da estimativa visual das áreas afetadas, mas com auxílio da subdivisão dos trechos em 5 m.

Os defeitos foram representados por símbolos apropriados e identificados por um número correspondente ao tipo de defeito, seguido pelo nível de severidade (Baixa, Média, Alta), conforme apresentado na Figura 4.5. Assim, por exemplo, um remendo (defeito 7) com severidade baixa é identificado como “7B” (Figura 4.6). O Anexo B apresenta o mapeamento completo das treze seções analisadas enquanto o Anexo C apresenta fotos de alguns dos defeitos identificados.

Os defeitos identificados nas 13 seções analisadas na cidade de São Carlos foram: trincas por fadiga (onze ocorrências), trincas transversais (uma ocorrência), remendos (doze ocorrências), panelas (sete ocorrências), corrugação (duas ocorrências), exsudação (uma ocorrência) e desgaste (seis ocorrências). As Tabelas 4.5 e 4.6 mostram os tipos de ocorrência em termos de extensão e porcentagem da área afetada, respectivamente. É importante observar que um defeito pode se sobrepor a outro, como ocorre na seção 12. Nestes casos, deve-se considerar apenas o defeito mais importante.

SEÇÃO: 0

10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 m

10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

15 20 25 30 m

Comentários:

FIGURA 4.4 - Exemplo de formulário utilizado para o mapeamento dos defeitos (SHRP, 1993b).

SIMBOLOGIA

<u>TIPO DE DEFEITO</u>	<u>SÍMBOLO</u>	<u>TIPO DE DEFEITO</u>	<u>SÍMBOLO</u>
1. Trincas po Fadiga B, M, A*		8. Pannels B, M, A*	
2. Trincas em Blocos B, M, A* S: Selada		10. Corrugação	
3. Trincas Laterais B, M, A*		11. Exsudação B, M, A*	
4. Trincas Longitudinais B, M, A* S: Selada		12. Agregados Polidos	
5. Trincas por Reflexão B, M, A*		13. Desgaste B, M, A*	
6. Trincas Transversais B, M, A* S: Selada		15. Bombçamento	
7. Remendos B, M, A*		9. Deformação Permanente nas Trilhas de Roda **	
		10. Desnível Pista/Acostamento **	

* Níveis de severidade Baixa, Média e Alta.
** Não indicados no mapeamento dos defeitos.

FIGURA 4.5 - Simbologia para representação dos defeitos (adaptada de SHRP, 1993b).

FIGURA 4.6 - Exemplo de mapeamento de defeitos: Seção 2.

TABELA 4.5 - Quantitativo dos defeitos no pavimento.

SEÇÃO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Extensão (m)		99	77	240	72	60	90	105	152	51	87	129	89	84
Largura (m)		8,5	7,7	8,6	9,6	8,6	8,6	8,7	7,5	7,7	7,8	8,9	10,0	7,8
Área (m ²)		841,5	592,9	2064,0	691,2	516,0	774,0	913,5	1140,0	392,7	678,6	1148,1	890,0	655,2
1 Trincas por Fadiga (m ²)	1B	-	131,2	412,4	-	-	65,7	126,8	140,0	-	-	5,0	42,0	131,0
	1M	25,5	36,4	73,8	67,2	39,7	122,3	-	97,0	-	-	-	0,9	73,5
	1A	-	8,7	192,0	42,8	63,0	-	-	9,0	-	-	-	-	18,0
6 Trincas Transversais (m)	6B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6M	-	-	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 Remendos (m ²)	7B	18,5	6,0	164,2	54,2	90,0	92,4	-	153,0	3,5	17,3	109,1	-	135,8
	7M	27,2	26,2	60,0	82,9	12,0	49,5	1,8	1,0	6,2	-	47,4	-	30,5
	7A	12,1	4,0	34,0	1,7	87,1	9,6	-	-	-	20,4	-	-	-
8 Pancas (m ²)	8B	0,2	-	0,4	-	-	-	0,3	1,0	-	-	-	-	-
	8M	-	1,2	0,2	-	-	0,2	-	0,4	-	-	-	-	-
	8A	-	-	0,6	-	-	0,2	-	20,0	-	2,0	-	-	-
10 Corrugação (m ²)	10B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,2	-	356,0	-
	10M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 Exsudação (m ²)	11B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	356,0	-
	11M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13 Desgaste (m ²)	13B	398,0	-	206,4	-	34,8	-	483,0	-	-	28,1	-	356,0	-
	13M	116,6	-	206,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13A	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABELA 4.6 - Quantitativo dos defeitos no pavimento (% da área afetada).

SEÇÃO		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Extensão (m)		99,0	77,0	240,0	72,0	60,0	90,0	105,0	152,0	51,0	87,0	129,0	89,0	84,0
Largura (m)		8,5	7,7	8,6	9,6	8,6	8,6	8,7	7,5	7,7	7,8	8,9	10,0	7,8
Área (m ²)		841,5	592,9	2064,0	691,2	516,0	774,0	913,5	1140,0	392,7	678,6	1148,1	890,0	655,2
1 Trincas por Fadiga	1B	-	22,1	20,0	-	-	8,5	13,9	12,3	-	-	0,4	4,7	20,0
	1M	3,0	6,1	3,6	9,7	7,7	15,8	-	8,5	-	-	-	0,1	11,2
	1A	-	1,5	9,3	6,2	12,2	-	-	0,8	-	-	-	-	2,7
6 Trincas Transversais	6B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6M	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 Remendos	7B	2,2	1,0	8,0	7,8	17,4	11,9	-	13,4	0,9	2,5	9,5	-	20,7
	7M	3,2	4,4	2,9	12,0	2,3	6,4	0,2	0,1	1,6	-	4,1	-	4,7
	7A	1,4	0,7	1,6	0,2	16,9	1,2	-	-	-	3,0	-	-	-
8 Panelas	8B	0,02	-	0,02	-	-	-	0,03	0,1	-	-	-	-	-
	8M	-	0,2	0,01	-	-	0,02	-	0,04	-	-	-	-	-
	8A	-	-	0,03	-	-	0,02	-	1,8	-	0,3	-	-	-
10 Corrugação	10B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	-	40,0	-
	10M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 Exsudação	11B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40,0	-
	11M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13 Desgaste	13B	47,3	-	10,0	-	6,7	-	52,9	-	-	4,1	-	40,0	-
	13M	13,9	-	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13A	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.4 - Determinação do Índice de Condição dos Pavimentos

Os índices de defeitos combinados são calculados através da composição das ocorrências de vários tipos de defeito. Uma vez que certos defeitos influem mais que outros para a perda de serventia do pavimento, cada nível de severidade de um determinado defeito deve ser associado a um fator de ponderação, sendo que os fatores de ponderação também devem ser ajustados para as condições operacionais e ambientais do local onde serão utilizados.

Neste trabalho, procurou-se determinar os fatores de ponderação para os defeitos identificados. A partir das avaliações subjetivas ($ICP_{(avaliação\ subjetiva)}$) e com as informações de extensão e severidade dos defeitos (D_{ij} , extensão do defeito i com nível de severidade j) obtidas na avaliação objetiva, tentou-se fazer um ajuste dos fatores de ponderação (f_{ij}) através de um processo iterativo, buscando-se obter a igualdade:

$$ICP_{(avaliação\ subjetiva)} = 100 - \sum D_{ij} \times f_{ij}. \quad (4.1)$$

Como ponto de partida, foram utilizados os fatores de ponderação sugeridos no programa de gerência de pavimentos urbanos URMS (CHEN et al., 1993) e os resultados publicados por KHEDR & EL DIMEERY (1994), apresentados na Tabela 4.7, que também inclui os resultados obtidos da análise realizada.

TABELA 4.7 - Fatores de ponderação sugeridos por CHEN et al. (1993), KHEDR & EL DIMEERY (1994) e ajustados a partir da avaliação subjetiva.

TIPO DE DEFEITO	FATORES DE PONDERAÇÃO								
	URMS (CHEN et al., 1993)			KHEDR & EL DIMEERY (1994)			AJUSTADO		
	SEVERIDADE			SEVERIDADE			SEVERIDADE		
	BAIXA	MÉDIA	ALTA	BAIXA	MÉDIA	ALTA	BAIXA	MÉDIA	ALTA
1. Trincas por Fadiga	0,40	0,60	0,80	0,40	0,70	1,00	0,70	0,80	0,90
2. Trincas em Blocos	0,20	0,40	0,60	0,40	0,70	1,00			
3. Trincas Laterais									
4. Trincas Longitudinais	0,20	0,35	0,80	0,40	0,70	1,00			
5. Trincas por Reflexão									
6. Trincas Transversais	0,20	0,35	0,80	0,40	0,70	1,00		0,35	
7. Remendos	0,10	0,15	0,20	0,30	0,60	1,00	0,70	0,80	0,95
8. Painelas	0,60	0,80	1,00	0,40	0,70	1,00	0,75	0,90	0,95
9. Afundamento de Trilha de Roda	0,30	0,45	0,60	0,30	0,70	1,00			
10. Corrugação	0,50			0,40	0,80	1,00	0,50		
11. Exsudação	0,10	0,20	0,30	0,80	0,80	1,00	0,30		
12. Agregados Polidos	0,10	0,20	0,30	0,10	0,20	0,30			
13. Desgaste	0,60	0,80	1,00	0,30	0,60	1,00	0,75	0,85	1,00
14. Desnível Pista/Acostamento									
15. Bombeamento									

O método iterativo utilizado para os ajustes dos fatores de ponderação é relativamente simples, pois podem ser utilizadas ferramentas computacionais como, por exemplo, planilhas eletrônicas (Lotus, Quatro-Pro, Excel etc.). Porém, considerando-se o pequeno número de seções analisadas e a grande dispersão dos resultados obtidos na avaliação subjetiva (Tabela 4.8), recomenda-se considerar os fatores de ponderação obtidos neste trabalho apenas como uma primeira tentativa de ajuste de fatores de ponderação às nossas condições operacionais e ambientais. Em outras palavras, as análises efetuadas recomendam a continuidade de utilização deste método de ajuste dos fatores de ponderação, mas ainda não a sua utilização em trabalhos práticos. Para os defeitos que não ocorreram nas seções avaliadas, é sugerido que sejam utilizados fatores de ponderação encontrados na bibliografia.

TABELA 4.8 - Valores do Índice de Condição do Pavimento (ICP) para diferentes fatores de ponderação.

SEÇÃO	ICP (avaliações subjetivas)	ICP (URMS)	ICP KHEDR & EL DIMEERY (1994)	ICP (ajustado)
1	54	58	71	45
2	48	85	82	73
3	44	67	65	49
4	34	87	77	71
5	45	76	57	48
6	43	85	77	67
7	81	63	78	50
8	52	86	82	73
9	80	100	99	98
10	73	96	95	92
11	63	98	95	90
12	67	50	38	35
13	54	80	72	56

4.5 - Previsão de Desempenho: Determinação da Condição Futura a partir da Condição Atual

Conforme apresentado no capítulo 2, os modelos de previsão de desempenho são de grande importância em qualquer sistema de gerência de pavimentos porque permitem a comparação de diferentes estratégias de intervenção não só em termos de custos iniciais mas considerando-se todos os custos que ocorrem ao longo da vida em serviço.

Para o desenvolvimento de modelos de desempenho podem ser utilizados métodos baseados em dados históricos e técnicas de previsão da condição futura a partir tão somente da condição atual do pavimento. Infelizmente, a realidade das cidades brasileiras não permite que possam ser utilizados métodos baseados em dados históricos sobre o desempenho e as solicitações climáticas e do tráfego. Tem-se que lançar mão, portanto, de técnicas probabilísticas que possibilitam a estimativa da condição futura com base no grau de convicção racional de especialistas.

Dadas as dificuldades para o estabelecimento de matrizes de probabilidades de transição, em razão do estágio atual da gerência de pavimentos urbanos no Brasil e também das dificuldades inerentes para o desenvolvimento completo do processo de Markov através de métodos formais de entrevistas (método de Delfos, por exemplo), buscou-se, neste trabalho, desenvolver alternativas compatíveis com a nossa realidade.

Assim, por exemplo, durante o curso de “Atualização em Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos”, oferecido pelo Departamento de Transportes da EESC-USP em março de 1997 e que contou com a participação de engenheiros que atuam na área de pavimentação em várias cidades do estado de São Paulo

(Rio Claro, Franca, Sumaré, Catanduva, São Paulo, Bauru, Bragança Paulista), procurou-se obter as opiniões desses especialistas a respeito do desempenho de algumas das seções do estudo piloto (seções 1, 2, 3, 4, 7 e 8).

Nesta tentativa de obtenção de subsídios para o desenvolvimento de modelos de previsão da condição futura a partir da avaliação da condição atual utiliza-se o questionário apresentado na Figura 4.7. Para cada especialista são fornecidas informações obtidas do inventário de cada seção (idade do pavimento, classe funcional, volume diário médio e porcentagem de caminhões) e busca-se determinar:

- avaliação subjetiva da condição atual das seções, mediante atribuição de notas (0 a 100) ao pavimento com base apenas na inspeção visual;
- práticas de manutenção e reabilitação adotadas pelas várias prefeituras, de acordo com a avaliação do pavimento, e o ano recomendado para a intervenção;
- previsão da condição do pavimento no ano seguinte;
- tempo necessário para a seção atingir a condição mínima, considerando-se que a seção não sofrerá intervenção.

SEÇÃO : _____ IDADE: _____ VDM: _____	DATA: _____ CLASSE FUNCIONAL: _____ % CAMINHÕES: _____

AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO ATUAL DO PAVIMENTO:	ICP =	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>100</td></tr> <tr><td>90</td></tr> <tr><td>80</td></tr> <tr><td>70</td></tr> <tr><td>60</td></tr> <tr><td>50</td></tr> <tr><td>40</td></tr> <tr><td>30</td></tr> <tr><td>20</td></tr> <tr><td>10</td></tr> </table>	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
100												
90												
80												
70												
60												
50												
40												
30												
20												
10												

ESTRATÉGIA DE M&R RECOMENDADA PARA A SEÇÃO: (Faça um círculo na opção)

- 1 - Manutenção de Rotina
- 2 - Manutenção Preventiva
- 3 - Adiamento da Intervenção
- 4 - Reabilitação
- 5 - Reconstrução

ATIVIDADE RECOMENDADA PARA A SEÇÃO: _____

_____

ANO RECOMENDADO PARA A INTERVENÇÃO: _____

AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTO NO PRÓXIMO ANO:		<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>100</td></tr> <tr><td>90</td></tr> <tr><td>80</td></tr> <tr><td>70</td></tr> <tr><td>60</td></tr> <tr><td>50</td></tr> <tr><td>40</td></tr> <tr><td>30</td></tr> <tr><td>20</td></tr> <tr><td>10</td></tr> </table>	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
100												
90												
80												
70												
60												
50												
40												
30												
20												
10												

TEMPO NECESSÁRIO PARA A SEÇÃO ATINGIR A CONDIÇÃO MÍNIMA: _____

1) condição mínima é aquela que exige necessariamente algum tipo de intervenção;
 2) considera-se que a seção não sofrerá intervenção até atingir a condição mínima.

FIGURA 4.7 - Questionário simplificado para avaliação da condição atual, previsão para o próximo ano e conhecimento das práticas de manutenção e reabilitação adotadas pelas prefeituras.

TABELA 4.9 - Avaliação da condição atual e previsão para o próximo ano.

AVALIADOR	SECÃO											
	1		2		3		4		7		8	
	ICP ATUAL	ICP (1 ANO)	ICP ATUAL	ICP (1 ANO)	ICP ATUAL	ICP (1 ANO)	ICP ATUAL	ICP (1 ANO)	ICP ATUAL	ICP (1 ANO)	ICP ATUAL	ICP (1 ANO)
1	60	50	40	20	40	20	70	60	90	80	50	30
2	80	70	20	10	30	20	40	30	90	80	40	30
3	70	60	60	50	60	60	60	50	90	90	60	60
4	70	70	80	60	80	70	70	60	90	90	70	60
5	70	50	40	30	50	40	70	50	90	90	50	40
6	80	70	70	50	60	40	70	60	80	70	50	40
7	100	90	70	60	80	70	60	50	100	90	90	80
8	70	60	50	30	50	30	60	50	80	60	50	40
9	70	50	40	30	60	40	70	60	90	80	60	50
10	80	70	90	80	70	60	80	70	100	100	80	70
11	80	70	90	80	80	70	70	70	100	90	70	60
12	60	40	80	60	70	60	60	50	100	80	60	60
13	90	80	40	40	40	30	60	50	80	60	60	60
14	70	60	60	40	50	40	40	30	80	80	70	50
15	80	70	70	60	60	50	60	50	80	80	60	50
MÉDIA	75,3	64,0	60,0	46,7	58,7	46,7	62,7	52,7	89,3	81,3	61,3	52,0
DESVIO	10,6	13,0	21,0	20,6	15,5	17,6	11,0	11,6	8,0	11,3	13,0	14,2

TABELA 4.10 - Condição atual e previsão para o ano seguinte (percentual de respostas).

SEÇÃO	CONDIÇÃO ATUAL	CONDIÇÃO FUTURA (1 ANO)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	50	50	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	100	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	17	50	33	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	50	50	0	0	0
2	1	0	100	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	100	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	67	33	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	50	50	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	100	0	0
	6	0	0	0	0	0	25	50	25	0
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	100
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	100	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	100	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	25	25	50	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	67	33	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	50	50	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	100	0
4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	0	0	100	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	17	66	17	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	100	0	0	0	0
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	0	0	0	0	0	0	100	0	0
7	1	60	40	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	40	20	40	0	0	0	0	0
8	1	0	100	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	100	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	67	33	0	0	0	0
	4	0	0	0	60	40	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	75	25	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	100	0	0

Portanto, devido à impossibilidade da aplicação formal do método de Delfos (reuniões de consenso), propõe-se um procedimento alternativo para determinação das matrizes de probabilidades de transição, que consiste das seguintes etapas:

- seleção de várias seções com características similares quanto ao tipo e estrutura de pavimento, histórico de construção e classe funcional, mas em diferentes estágios de deterioração;
- avaliação subjetiva das seções por um grupo de especialistas (para garantir que não haja discrepância entre avaliações) e a previsão da condição para o próximo ano;
- cálculo da probabilidade condicional:

$$P(b / a) = \frac{\text{seções que passariam do estado inicial (a) para o estado (b)}}{\text{seções que estavam no estado inicial (a)}} \quad (4.2)$$

onde $P(b / a)$ é a probabilidade de uma seção passar do estado inicial (a) para o estado (b).

Deve-se destacar que o procedimento descrito consiste em uma simplificação com intuito de facilitar a análise das condições apresentadas, mediante visualização das mesmas no campo, ao contrário do que seria realizado no método de Delfos, por exemplo, em que todas as situações teriam de ser consideradas pelos especialistas, que forneceriam as probabilidades sem qualquer informação além das que constam dos formulários.

Na análise apresentada, foi desconsiderada a grande dispersão de opiniões entre os avaliadores, como pode ser observado na Tabela 4.9 para quase todas as seções. Este problema tende a diminuir com a disseminação dos conceitos de gerência de pavimentos entre os técnicos das prefeituras municipais, principalmente da necessidade de avaliação da condição dos pavimentos ao longo do tempo. É possível, num futuro não muito distante, que se tenha condição de estabelecer matrizes de probabilidades de transição utilizando-se o método de Delfos.

Porém, qualquer que seja o procedimento adotado para o estabelecimento das matrizes de probabilidades de transição, deve-se sempre confrontar as previsões com o desempenho real dos pavimentos. Infelizmente, a única maneira existente para o aperfeiçoamento dos modelos de desempenho consiste no acompanhamento da condição dos pavimentos ao longo do tempo. Tanto isso é verdade que o Programa SHRP tem como parte mais importante o acompanhamento do desempenho dos pavimentos por pelo menos quinze anos (LTPP - *Long Term Pavement Performance*).

4.6 - Priorização

Foi executada a análise de priorização das seções do estudo piloto tanto através do Índice de Prioridade proposto por TAVAKOLI et al. (1992) como utilizando matrizes de priorização. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 4.11 a 4.18. A Tabela 4.11 apresenta os dados necessário ao cálculo do IP (Índice de Prioridade), a Tabela 4.12 apresenta um resumo das características das seções e os resultados da análise de priorização e a Tabela 4.13 apresenta as seções já arranjadas de acordo com a análise de priorização efetuada (“maior prioridade primeiro”).

A Tabela 4.14 apresenta um resumo dos resultados parciais obtidos das matrizes de priorização (valores X e Y), as tabelas 4.15 e 4.16 apresentam, respectivamente, os resultados da análise de priorização e o arranjo das seções de acordo com os Índices de Prioridade calculados considerando-se pesos maiores para os fatores “idade” e “condição do pavimento”, enquanto que as tabelas 4.17 e 4.18 apresentam os resultados obtidos considerando pesos iguais para todos os fatores (idade, ICP, tráfego e classe funcional).

A principal discrepância entre os resultados obtidos considerando-se os dois métodos de determinação do Índice de Prioridade foi para a seção 2 (Rua Paulino B.A. Sampaio) e, assim como as outras diferenças observadas, deve-se, principalmente, ao fato de que o uso de matrizes de priorização leva em conta a idade dos pavimentos, não considerada na expressão proposta por TAVAKOLI et al. (1992). Cabe a ressalva, no entanto, de que as informações para a elaboração do inventário das seções do estudo piloto (idade, inclusive) não foram obtidas dos arquivos da Prefeitura Municipal de São Carlos.

Considerando-se que as prefeituras municipais geralmente selecionam os trechos para as intervenções com base no volume de tráfego e nas reclamações dos usuários (função da condição dos pavimentos) e que os dados históricos do inventário são de difícil obtenção, o método proposto por TAVAKOLI et al. (1992) apresenta-se como a melhor opção, ao menos no estágio atual.

TABELA 4.11 - Cálculo do Índice de Prioridade (IP) segundo modelo proposto por TAVAKOLI et al. (1992).

SEÇÃO	CLASSE FUNCIONAL	VDM	ICP	FT	CF	FR	IP
1	L	450	54	20	1	1	2,70
2	C	2500	48	50	1,1	1,1	0,79
3	A	12000	44	100	1,2	1,1	0,33
4	C	5000	34	100	1,1	1,1	0,28
5	C	5500	45	100	1,1	1,1	0,37
6	C	4000	43	50	1,1	1,1	0,71
7	C	5500	81	100	1,1	1,1	0,67
8	C	4000	52	50	1,1	1,1	0,86
9	C	6700	80	100	1,1	1,1	0,66
10	C	4200	73	50	1,1	1,1	1,21
11	C	12000	63	100	1,1	1,1	0,52
12	A	15000	67	100	1,2	1,1	0,51
13	C	6000	54	100	1,1	1,1	0,45

TABELA 4.12 - Resultados da análise de priorização segundo modelo proposto por TAVAKOLI et al. (1992).

SEÇÃO	RUA	INÍCIO	FIM	EXT. (m)	LARG. (m)	VDM	ICP	IP	ANO	CUSTO
1	R. Cons. J. Alfredo	R. Paul. B. A. Sampaio	R. Victor M. S. Lima	99	8,5	700	54	2,70		
2	R. Paul. B. A. Sampaio	Av. Miguel Petroni	R. P. Alice J.D. Juliano	77	7,7	2500	48	0,79		
3	Av. Marginal	Saída da EESC-USP	R. Carlos de C. Salles	240	8,6	12000	44	0,33		
4	R. Luiz Vaz T. Pizza	R. Miguel Margarido	Al. Crisandálias	72	9,6	5000	34	0,28		
5	R. Luiz Vaz T. Pizza	R. Miguel Margarido	Av. Marginal	60	8,6	5500	45	0,37		
6	Al. Crisântemos	R. Aldino Del Nero	Av. Marginal	90	8,6	4000	43	0,71		
7	Rua Miguel Petroni	"Rotatória"	"Bifurcação"	105	8,7	5500	81	0,67		
8	R. João de Guzzi	R. Luiz P. A. Ferraz	"Rotatória"	152	7,5	3000	52	0,86		
9	R. Antônio Blanco	R. Emilio Moro	R. São Joaquim	51	7,7	6700	80	0,66		
10	R. Antônio Blanco	R. São Joaquim	R. D. Alexandrina	87	7,8	4200	73	1,21		
11	R. Prof. José Camargo	R. Rotary Club	R. Sérgio F. P. Fleury	129	8,9	12000	63	0,52		
12	Av. São Carlos	R. 28 Setembro	Av. Dr. Carlos Botelho	89	10,0	15000	67	0,51		
13	Av. XV Novembro	R. Episcopal	R. 9 de Julho	84	7,8	6000	54	0,45		

TABELA 4.13 - Priorização das seções conforme modelo proposto por TAVAKOLI et al. (1992).

SEÇÃO	RUA	INÍCIO	FIM	EXT. (m)	LARG. (m)	VDM	ICP	IP	ANO	CUSTO
4	R. Luiz Vaz T. Pizza	R. Miguel Margarido	Al. Crisandalias	72	9,6	5000	34	0,28		
3	Av. Marginal	Saida da EESC-USP	R. Carlos de C. Salles	240	8,6	12000	44	0,33		
5	R. Luiz Vaz T. Pizza	R. Miguel Margarido	Av. Marginal	60	8,6	5500	45	0,37		
13	Av. XV Novembro	R. Episcopal	R. 9 de Julho	84	7,8	6000	54	0,45		
12	Av. São Carlos	R. 28 Setembro	Av. Dr. Carlos Botelho	89	10,0	15000	67	0,51		
11	R. Prof. José Camargo	R. Rotary Club	R. Sérgio F. P. Fleury	129	8,9	12000	63	0,52		
9	R. Antônio Blanco	R. Emilio Moro	R. São Joaquim	51	7,7	6700	80	0,66		
7	Rua Miguel Petroni	"Rotatória"	"Bifurcação"	105	8,7	5500	81	0,67		
6	Al. Crisântemos	R. Aldino Del Nero	Av. Marginal	90	8,6	4000	43	0,71		
2	R. Paul. B. A. Sampaio	Av. Miguel Petroni	R. P. Alice J.D. Juliano	77	7,7	2500	48	0,79		
8	R. João de Guzzi	R. Luiz P. A. Ferraz	"Rotatória"	152	7,5	3000	52	0,86		
10	R. Antônio Blanco	R. São Joaquim	R. D. Alexandrina	87	7,8	4200	73	1,21		
1	R. Cons. J. Alfredo	R. Paul. B. A. Sampaio	R. Victor M. S. Lima	99	8,5	700	54	2,70		

TABELA 4.14 - Cálculo do Índice de Prioridade (IP) segundo modelo proposto por CHEN et al. (1993).

SEÇÃO	IDADE (anos)	CLASSE FUNC.	VDM	ICP	CÓDIGO IDADE	CÓDIGO ICP	CÓDIGO TRÁFEGO	X	Y	IP (0,7X+0,3Y)	IP (X+Y)
1	30	L	450	54	1	3	5	11	15	12	26
2	30	C	2500	48	1	2	3	6	8	7	14
3	20	A	12000	44	2	2	1	7	1	5	8
4	20	C	5000	34	2	2	1	7	2	6	9
5	20	C	5500	45	2	2	1	7	2	6	9
6	8	C	4000	43	4	2	2	9	5	8	14
7	8	C	5500	81	4	5	1	24	2	17	26
8	4	C	4000	52	5	3	2	20	5	16	25
9	25	C	6700	80	1	5	1	13	2	10	15
10	25	C	4200	73	1	4	1	12	2	9	14
11	30	C	12000	63	1	3	1	11	2	8	13
12	45	A	15000	67	1	3	1	11	1	8	12
13	30	C	6000	54	1	3	1	11	2	8	13

TABELA 4.15 - Resultados da análise de priorização segundo modelo proposto por CHEN et al. (1993), considerando-se pesos maiores para os fatores "idade" e "condição do pavimento".

SEÇÃO	RUA	INÍCIO	FIM	EXT. (m)	LARG. (m)	VDM	ICP	IP	ANO	CUSTO
1	R. Cons. J. Alfredo	R. Paul. B. A. Sampaio	R. Victor M. S. Lima	99	8,5	700	54	12		
2	R. Paul. B. A. Sampaio	Av. Miguel Petroni	R. P. Alice J.D. Juliano	77	7,7	2500	48	7		
3	Av. Marginal	Saida da EESC-USP	R. Carlos de C. Salles	240	8,6	12000	44	5		
4	R. Luiz Vaz T. Pizza	R. Miguel Margarido	Al. Crisandálias	72	9,6	5000	34	6		
5	R. Luiz Vaz T. Pizza	R. Miguel Margarido	Av. Marginal	60	8,6	5500	45	6		
6	Al. Crisântemos	R. Aldino Del Nero	Av. Marginal	90	8,6	4000	43	8		
7	Rua Miguel Petroni	"Rotatória"	"Bifurcação"	105	8,7	5500	81	17		
8	R. João de Guzzi	R. Luiz P. A. Ferraz	"Rotatória"	152	7,5	3000	52	16		
9	R. Antônio Blanco	R. Emilio Moro	R. São Joaquim	51	7,7	6700	80	10		
10	R. Antônio Blanco	R. São Joaquim	R. D. Alexandrina	87	7,8	4200	73	9		
11	R. Prof. José Camargo	R. Rotary Club	R. Sérgio F. P. Fleury	129	8,9	12000	63	8		
12	Av. São Carlos	R. 28 Setembro	Av. Dr. Carlos Botelho	89	10,0	15000	67	8		
13	Av. XV Novembro	R. Episcopal	R. 9 de Julho	84	7,8	6000	54	8		

TABELA 4.16 - Priorização das seções conforme modelo proposto por CHEN et al. (1993), considerando-se pesos maiores para os fatores "idade" e "condição do pavimento".

SEÇÃO	RUA	INÍCIO	FIM	EXT. (m)	LARG. (m)	VDM	ICP	IP	ANO	CUSTO
3	Av. Marginal	Saída da EESC-USP	R. Carlos de C. Salles	240	8,6	12000	44	5		
5	R. Luiz Vaz T. Pizza	R. Miguel Margarido	Av. Marginal	60	8,6	5500	45	6		
4	R. Luiz Vaz T. Pizza	R. Miguel Margarido	Al. Crisandálias	72	9,6	5000	34	6		
2	R. Paul. B. A. Sampaio	Av. Miguel Petroni	R. P. Alice J.D. Juliano	77	7,7	2500	48	7		
12	Av. São Carlos	R. 28 Setembro	Av. Dr. Carlos Botelho	89	10,0	15000	67	8		
11	R. Prof. José Camargo	R. Rotary Club	R. Sérgio F. P. Fleury	129	8,9	12000	63	8		
13	Av. XV Novembro	R. Episcopal	R. 9 de Julho	84	7,8	6000	54	8		
6	Al. Crisântemos	R. Aldino Del Nero	Av. Marginal	90	8,6	4000	43	8		
10	R. Antônio Blanco	R. São Joaquim	R. D. Alexandrina	87	7,8	4200	73	9		
9	R. Antônio Blanco	R. Emilio Moro	R. São Joaquim	51	7,7	6700	80	10		
1	R. Cons. J. Alfredo	R. Paul. B. A. Sampaio	R. Victor M. S. Lima	99	8,5	700	54	12		
8	R. João de Guzzi	R. Luiz P. A. Ferraz	"Rotatória"	152	7,5	3000	52	16		
7	Rua Miguel Petroni	"Rotatória"	"Bifurcação"	105	8,7	5500	81	17		

TABELA 4.17 - Resultados da análise de priorização segundo modelo proposto por CHEN et al. (1993), considerando-se pesos iguais para todos os fatores (idade, ICP, tráfego e classe funcional).

SEÇÃO	RUA	INÍCIO	FIM	EXT. (m)	LARG. (m)	VDM	ICP	IP	ANO	CUSTO
1	R. Cons. J. Alfredo	R. Paul. B. A. Sampaio	R. Victor M. S. Lima	99	8,5	700	54	26		
2	R. Paul. B. A. Sampaio	Av. Miguel Petroni	R. P. Alice J.D. Juliano	77	7,7	2500	48	14		
3	Av. Marginal	Saída da EESC-USP	R. Carlos de C. Salles	240	8,6	12000	44	8		
4	R. Luiz Vaz T. Pizza	R. Miguel Margarido	Al. Crisandálias	72	9,6	5000	34	9		
5	R. Luiz Vaz T. Pizza	R. Miguel Margarido	Av. Marginal	60	8,6	5500	45	9		
6	Al. Crisântemos	R. Aldino Del Nero	Av. Marginal	90	8,6	4000	43	14		
7	Rua Miguel Petroni	"Rotatória"	"Bifurcação"	105	8,7	5500	81	26		
8	R. João de Guzzi	R. Luiz P. A. Ferraz	"Rotatória"	152	7,5	3000	52	25		
9	R. Antônio Blanco	R. Emilio Moro	R. São Joaquim	51	7,7	6700	80	15		
10	R. Antônio Blanco	R. São Joaquim	R. D. Alexandrina	87	7,8	4200	73	14		
11	R. Prof. José Camargo	R. Rotary Club	R. Sérgio F. P. Fleury	129	8,9	12000	63	13		
12	Av. São Carlos	R. 28 Setembro	Av. Dr. Carlos Botelho	89	10,0	15000	67	12		
13	Av. XV Novembro	R. Episcopal	R. 9 de Julho	84	7,8	6000	54	13		

TABELA 4.18 - Priorização das seções conforme modelo proposto por CHEN et al. (1993), considerando-se pesos iguais para todos os fatores (idade, ICP, tráfego, classe funcional).

SEÇÃO	RUA	INÍCIO	FIM	EXT. (m)	LARG. (m)	VDM	ICP	IP	ANO	CUSTO
3	Av. Marginal	Saída da EESC-USP	R. Carlos de C. Salles	240	8,6	12000	44	8		
5	R. Luiz Vaz T. Pizza	R. Miguel Margarido	Av. Marginal	60	8,6	5500	45	9		
4	R. Luiz Vaz T. Pizza	R. Miguel Margarido	Al. Crisandalias	72	9,6	5000	34	9		
12	Av. São Carlos	R. 28 Setembro	Av. Dr. Carlos Botelho	89	10,0	15000	67	12		
11	R. Prof. José Camargo	R. Rotary Club	R. Sérgio F. P. Fleury	129	8,9	12000	63	13		
13	Av. XV Novembro	R. Episcopal	R. 9 de Julho	84	7,8	6000	54	13		
10	R. Antônio Blanco	R. São Joaquim	R. D. Alexandrina	87	7,8	4200	73	14		
6	Al. Crisântemos	R. Aldino Del Nero	Av. Marginal	90	8,6	4000	43	14		
2	R. Paul. B. A. Sampaio	Av. Miguel Petroni	R. P. Alice J.D. Juliano	77	7,7	2500	48	14		
9	R. Antônio Blanco	R. Emílio Moro	R. São Joaquim	51	7,7	6700	80	15		
8	R. João de Guzzi	R. Luiz P. A. Ferraz	"Rotatória"	152	7,5	3000	52	25		
7	Rua Miguel Petroni	"Rotatória"	"Bifurcação"	105	8,7	5500	81	26		
1	R. Cons. J. Alfredo	R. Paul. B. A. Sampaio	R. Victor M. S. Lima	99	8,5	700	54	26		

4.7 - Execução de Remendos

4.7.1 - Introdução

Dada a tradição da maioria das cidades brasileiras de só executar, dentre as atividades de manutenção e reabilitação, os “tapa-buracos”, analisam-se em detalhes vários aspectos da execução dos remendos nos pavimentos.

Os remendos consistem no método de reparo mais utilizado na manutenção de rodovias e ruas porque representam uma operação contínua e todos os pavimentos, uma hora ou outra, vão apresentar buracos, resultado da ação combinada de umidade, tráfego e baixa capacidade de suporte ou de cortes e trincheiras para construção e execução de reparos das redes de água, gás, esgoto, energia elétrica etc.

Para os usuários, os buracos devem ser imediatamente reparados, pois comprometem a segurança e o conforto e aumentam os custos operacionais. Além disso, permitem a entrada de água, que enfraquece a estrutura e acelera a deterioração. A decisão de se executar remendos dos buracos, no entanto, é influenciada por muitos fatores, com destaque para:

- volume de tráfego;
- tempo até a reabilitação ou recapeamento programados;
- disponibilidade de pessoal, equipamentos e materiais.

Em qualquer operação de remendo dos buracos, os dois elementos principais são a seleção de materiais e os procedimentos do reparo. Quanto ao tipo de material, podem ser usadas misturas usinadas a quente (CBUQ), no caso de reparos permanentes, ou pré-misturados a frio (PMF), no caso de reparos emergenciais, executados sob condições climáticas desfavoráveis.

Existem vários métodos de reparo:

- a) o método de reparo de buracos mais utilizado, não só no Brasil, consiste no "simples lançamento" da mistura asfáltica. Embora não represente uma técnica adequada, sua elevada produtividade o torna muito popular entre as equipes de manutenção e reabilitação de pavimentos;
- b) uma variação deste procedimento, capaz de produzir um remendo de melhor qualidade, consiste no lançamento de material asfáltico no buraco (que deve estar sem água ou sujeira, conforme Figura 4.8) seguido de compactação com os pneus do próprio caminhão transportador da mistura (Figura 4.9). Deve-se deixar uma pequena saliência, da ordem de 3 a 5 mm, de modo a permitir que o remendo fique nivelado com o pavimento circunvizinho após a compactação adicional proporcionada pelo tráfego;
- c) outro método de reparo de buracos é o método "permanente" (Figura 4.10), que consiste de: remoção de água e sujeira e instalação de drenagem, se a presença de água for a causa do defeito; corte da área retangular a ser remendada, 20 a 30 cm além das extremidades do buraco e até atingir uma profundidade com material consistente; aplicação de imprimadura de ligação nas faces verticais da escavação; aplicação de imprimadura impermeabilizante no fundo, caso o material seja granular; lançamento da mistura asfáltica (para evitar segregação, deve-se lançar a mistura asfáltica contra as paredes verticais dos cortes e esparramar da extremidade para o centro); compactação com equipamento adequado, menor do que a área do remendo (rolo compactador pequeno ou placa vibratória). Quando a profundidade for superior a 15 cm, a compactação deve ser realizada em camadas, devendo resultar numa superfície perfeitamente nivelada com o pavimento adjacente.

FIGURA 4.8 - Lançamento de mistura asfáltica na panela.

FIGURA 4.9 - Compactação com os pneus do caminhão transportador da mistura asfáltica.

FIGURA 4.10 - Procedimentos para execução de um remendo permanente (SHRP, 1993a).

A diferença de desempenho entre o tradicional "simples lançamento" e o "lançamento seguido de compactação" é muito maior do que o custo adicional em razão do tempo despendido durante a compactação (geralmente, 1 a 2 minutos, que não afetam significativamente a produtividade).

O método "permanente" apresenta as desvantagens de requerer mais trabalhadores e equipamentos e ter menor produtividade e, se não houver uma efetiva compactação, um remendo com mistura asfáltica usinada a quente pode durar tão pouco quanto uma mistura preparada a frio.

O principal problema é que os remendos temporários, na grande maioria das vezes, constituem o único procedimento de reparo executado. Um trabalho desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos em 1981, citado por EVANS et al. (1993), compara os custos de vários métodos de execução de remendos. De forma resumida, tem-se que o procedimento permanente apresenta um custo por tonelada da ordem de três vezes menor que o custo do procedimento temporário.

- + Porém, nem sempre é possível a execução de remendos com tempo quente e seco. Frequentemente, as condições climáticas obrigam a execução de remendos temporários, que têm a finalidade de evitar um dano maior ao pavimento. Nesses casos, deve-se redobrar os cuidados e não se esquecer de que os reparos executados sob condições desfavoráveis são apenas temporários e apresentam elevado custo por tonelada, em razão de terem vida em serviço muito curta.

4.7.2 - Valas Executadas por Concessionárias de Serviços Públicos

A abertura e o fechamento de valas por concessionárias de serviços de infraestrutura urbanas, particularmente de água e esgoto, podem acarretar muitos problemas à pavimentação, como por exemplo:

- deterioração das áreas do pavimento contíguas à vala por demora na recomposição ou por não execução de corte das áreas afetadas;
- ruptura do pavimento reconstituído, devido à insuficiência de espessura ou má execução;
- recalque do pavimento reconstituído, devido ao adensamento do solo de reaterro;
- reconstituição do pavimento em nível acima da superfície do pavimento primitivo.

Portanto, quando da abertura, é necessária a verificação do direcionamento das águas da superfície do pavimento, buscando-se evitar o escoamento para o interior das valas. Por outro lado, quando do fechamento deve-se utilizar solo com características iguais ou melhores que as do solo retirado da vala. No caso de ocorrência de solo mole no fundo da vala ou de lençol d'água aflorante, para evitar a saturação das camadas do reaterro e a formação de “borrachudos” deve-se executar uma camada de pedra ou areia antes do reaterro em camadas (no máximo 20 cm de espessura de material solto). Devem ser utilizados solos com teor de umidade em torno da umidade ótima e equipamentos adequados ao tipo e dimensões da vala.

Durante o reaterro, caso ocorram chuvas, as camadas afetadas devem ser removidas. Nos pavimentos asfálticos, quando da reconstrução do pavimento, deve-se cortar o revestimento em largura superior à da vala, para retirada do material deteriorado das bordas do pavimento. A estrutura do pavimento

recomposto deve ter características estruturais iguais ou superiores às do pavimento original, sendo que a superfície acabada deve estar nivelada com o pavimento adjacente.

4.7.3 - Custos dos Remendos

O custo dos remendos normalmente é associado ao custo dos materiais, embora o custo total também dependa muito de outros fatores (mão-de-obra e equipamento). Podem, também, ser considerados os atrasos associados à interrupção do tráfego para a execução de remendo. Materiais mais caros mas que proporcionam uma aplicação mais rápida e duram mais podem tanto diminuir o custo inicial como reduzir a necessidade de novos remendos num mesmo local.

Para quantificação do custo de um remendo pode-se utilizar o procedimento apresentado a seguir, baseado em SHRP (1993a):

Materiais:

(A) Custo de produção ou aquisição (\$ / ton)

(B) Custo de transporte (\$ / ton)

(C) Necessidade de material durante o período de análise (ton / ano)

$$N = (A + B) \times C$$

Mão-de-obra:

(D) Número de trabalhadores

(E) Salário diário médio por trabalhador (\$ / dia)

(F) Salário diário médio do supervisor (\$ / dia)

$$O = (D \times E) + F$$

Equipamentos:

(G) Caminhões para transporte da mistura asfáltica e dos outros equipamentos
(\$ / dia)

(H) Preparo do buraco para receber a mistura asfáltica (\$ / dia)

(I) Compactação (\$ / dia)

$$P = G + H + I$$

Usuários:

(J) Atrasos (\$ / dia)

(K) Produtividade diária média (ton / dia)

(L) Dias estimados para a Operação de Remendo: (C / K)

(M) Taxa de sobrevivência (remendos que duram um ano): (%)

depende da condição dos pavimentos, da qualidade dos materiais, da influência climática, da habilidade dos trabalhadores e desempenho dos reparos anteriores.

(Q) Custo Total: $N + (J + O + P) \times L$

(R) Custo Efetivo da Operação de Remendo, incluindo o custo dos usuários:

$$R = Q (2 - (M / 100))$$

(S) Custo Efetivo da Operação de Remendo, sem o custo dos usuários:

$$S = (N + (O + P) \times L) \times (2 - (M / 100))$$

(T) Custo por tonelada, incluindo o custo dos usuários:

$$T = R / C$$

(U) Custo por tonelada, sem o custo dos usuários:

$$U = S / C$$

4.7.4 - Avaliação do Desempenho dos Remendos

Para decidir sobre que tipo de remendo executar, os organismos rodoviários e as prefeituras deveriam comparar seus desempenhos por um período mínimo de um ano, sendo que esta monitorização consiste basicamente em verificar se os remendos executados apresentaram ou não ruptura. Os resultados podem ser representados em um gráfico análogo ao da Figura 4.11, que permite a visualização do tipo de remendo com melhor desempenho (maior área sob a curva).

FIGURA 4.11 - Exemplo de gráfico para comparação do desempenho de diferentes formas de deterioração (SHRP, 1993a).

Portanto, com a determinação dos custos e a avaliação do desempenho segundo os procedimentos apresentados as prefeituras municipais têm condições de confrontar as diferentes formas de execução dos remendos e, assim, quantificar o custo adicional de um “tapa-buraco” em relação a um remendo bem executado.

4.8- Segurança

Durante as atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos, um item muito importante é a segurança. Para a equipe que executa os serviços, as medidas de segurança (incluindo os equipamentos de proteção individual) dão tranquilidade para a realização das tarefas, enquanto que para os usuários a sinalização evita acidentes.

Infelizmente, as intervenções nos pavimentos, quando ocorrem, são caracterizadas pelo descaso com a segurança. Existem várias publicações que tratam exaustivamente deste problema e que deveriam ser utilizadas quando da execução dos serviços de manutenção e reabilitação dos pavimentos.

5 - Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Este trabalho desenvolveu uma revisão bibliográfica sobre o tema gerência de pavimentos urbanos, particularmente a respeito do levantamento dos dados de inventário, da avaliação da condição dos pavimentos e dos métodos de priorização. Desenvolveu, também, um estudo piloto de aplicação e adaptação de alguns dos métodos discutidos na revisão bibliográfica a treze seções de pavimentos da cidade de São Carlos, SP. Suas principais conclusões e sugestões para a continuidade dos estudos desenvolvidos são apresentadas neste capítulo.

Inicialmente, deve-se destacar que é possível começar a implantação de um sistema de gerência de pavimentos a qualquer hora, não se tendo que esperar por um “momento ideal”. Porém, um sistema de gerência de pavimentos não é *panacéia* e sua implementação com sucesso depende de componentes técnicos e fatores institucionais. O primeiro passo consiste na obtenção de apoio administrativo, o que não é uma tarefa fácil, pois ninguém, de início, se sente confortável com mudanças, e a implementação de um sistema de gerência de pavimentos requer mudanças na maneira como os profissionais pensam, reagem e fazem seus trabalhos do dia-a-dia. Portanto, devem ser tomados todos os cuidados para que os diferentes setores participem do processo de implementação e não atuem de forma a boicotá-lo.

Treinamento do pessoal e estabelecimento de ações com a participação de todos os setores são medidas indispensáveis. Deve-se entender que as mudanças não significam que o trabalho feito até hoje não tenha sido bom ou que os profissionais, particularmente dos níveis hierárquicos superiores, devam sentir-se culpados por não terem pensado em gerência de pavimentos antes.

Vencer a resistência inerente das pessoas exige criatividade e perseverança. Frases do tipo "eu tenho tomado decisões do meu jeito por mais de 20 anos e não preciso de computador para me ajudar", "eu não tenho tempo para cursos", "em time que está ganhando não se mexe" etc. ilustram bem o problema. Daí a importância do conhecimento dos conceitos básicos da gerência de pavimentos e da constatação confortadora de que os programas computacionais utilizados em gerência de pavimentos apenas processam rápida e adequadamente as informações, facilitando, e não substituindo, o trabalho dos responsáveis pela tomada de decisão.

Cursos de atualização e de especialização também são importantes, porque uma boa gerência de pavimentos requer pessoas para pensar e tomar decisões de uma maneira lógica e coordenada, em resposta às informações coletadas. Os profissionais com poder de decisão devem entender perfeitamente as potencialidades e limitações do processo de gerência de pavimentos. Devem, também, compreender a importância da continuidade das atividades ao longo do tempo (coleta de dados, análises, previsão orçamentária etc.) e reconhecer que os riscos são muito menores quando as decisões são tomadas após análises técnicas, baseadas em informações adequadamente coletadas.

O inventário da rede pavimentada urbana deve ser tão simples quanto possível, facilitando a coleta das informações necessárias: descrição e identificação das seções (classe funcional e administrativa, número e quadra, nome da rua, nome dos marcos de início e fim da seção, tipo de pavimento); características geométricas: (comprimento, largura, número de faixas, número de recapeamentos); histórico (ano de construção, ano da última atividade de manutenção e reabilitação, data e tipo das sucessivas atividades de manutenção e reabilitação e custos associados); tráfego (tráfego diário médio, taxa de crescimento, porcentagem de caminhões).

A condição dos pavimentos urbanos pode ser quantificada, para fins de gerência em nível de rede, apenas através do levantamento de defeitos no campo, mediante inspeção visual. Quanto às avaliações subjetivas, deve-se ter uma equipe com pelo menos cinco avaliadores conscientes dos procedimentos e propósitos da avaliação. Em virtude da necessidade de uniformização da avaliação da condição dos pavimentos, visando facilitar a análise das causas dos defeitos e suas prováveis soluções, recomenda-se a adoção do manual de levantamento de defeitos no campo utilizado no Programa SHRP, que foi apresentado, discutido e testado neste trabalho.

Para a determinação de índices combinados, como por exemplo o ICP, recomenda-se a calibração de fatores de ponderação para as condições que prevalecem na localidade onde será utilizado, reconhecendo-se que no início, em razão da inexistência de dados de desempenho, deverão ser adotados valores encontrados na literatura.

A inexistência de cadastros organizados e de um banco de dados com informações sobre projeto, construção, histórico das intervenções (manutenção e reabilitação) e monitorização da rede pavimentada tem motivado a aplicação

de técnicas estocásticas para o desenvolvimento de modelos de desempenho, como por exemplo o processo de Markov, que permite prever a condição futura a partir apenas do conhecimento da condição atual. Apesar das dificuldades para a aplicação formal do método de Delfos, sugere-se a continuidade de estudos visando a determinação de matrizes de probabilidades de transição a partir da opinião de especialistas, eventualmente tentando-se procedimentos alternativos simplificados, como por exemplo o apresentado neste trabalho.

* Grande parte dos remendos nos pavimentos é causada pelas concessionárias de serviços de água e esgoto. Nesse sentido, a indispensável integração dos sistemas de gerência da infra-estrutura urbana poderá ser facilitada com a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A cidade de São Carlos, por exemplo, já tem a sua malha pavimentada digitalizada (dividida em seções representadas por bairros), contendo informações sobre o recenseamento geral de 1991 (total de domicílios, instalações sanitárias, redes de abastecimento de água, coleta de lixo, nível de renda, número de habitantes), os nomes das ruas, as rotas de ônibus e mãos de direção armazenadas em um banco de dados computacional.

* Quanto à execução dos remendos, muitas vezes a única atividade de manutenção e reabilitação utilizada pelas prefeituras municipais, recomenda-se a adoção de procedimentos de reparos permanentes ou, eventualmente, o lançamento de mistura asfáltica seguido de compactação com o pneu do caminhão. A prática do simples lançamento de mistura asfáltica, sem cuidados prévios (limpeza e drenagem) ou posteriores (compactação), não deveria constar do elenco de atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos.

Referências Bibliográficas

- ABKOWITZ, M.; WALSH, S.; HAUSER, E.; MINOR, L. (1990). *Adaptation of Geographic Information Systems to Highway Management*. Journal of Transportation Engineering. vol. 116, n. 3, p.310-327.
- AL-SWAILMI, S. (1994). *Framework for Municipal Maintenance Management Systems*. Transportation Research Record 1442. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.03-10.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1972). *AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D.C.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1986). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Apêndice K: Typical Pavement Distress Type-Severity Descriptions. Washington, D.C.
- ARB (1978). *Catálogo dos Defeitos dos Revestimentos dos Pavimentos*. Associação Rodoviária Brasileira. Trad. por Hugo Alves Pequeno. São Paulo.
- AUGUSTO JR., F.; GIAMPAGLIA, H. R.; CUNHA, M. A. (1992). *Manual de Pavimentação Urbana*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo.
- BOWEN, G. E.; LEE, K. W. (1991). *Implementation of a Pavement Management System for Municipally Maintained Roads in Rhode Island*. Transportation Research Record 1311. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.248-255.

- BRONDINO, N. C. M.; SILVA, A. N. R. (1996). *Adaptação de um Cadastro de Imóveis para Cálculo de Imposto Territorial Utilizando um SIG*. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2, Florianópolis, p.122-130.
- BUTT, A. A.; SHAHIN, M. Y.; CARPENTER, S. H.; CARNAHAN, J. V. (1994). *Application of Markov Process to Pavement Management Systems at Network Level*. Third International Conference on Managing Pavements. San Antonio, Texas. vol. 2, p.159-172.
- CAREY, W. N.; IRICK, P. E. (1960). *The Pavement Serviceability-Performance Concept*. Highway Research Board Bulletin 250, p.40-58.
- CASTEDO, H.; GOULIAS, D.G.; BENSON, K.; HUDSON, W. R. (1990). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies*. SHRP-87-P001.
- CATION, K. A.; SHAHIN, M. Y.; SCULLION, T.; LYTTON, R. L. (1987). *Development of a Preventive Maintenance Algorithm for Use in Pavement Management Systems*. Transportation Research Record 1123. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.01-11.
- CHEN, X.; DOSSEY, T.; HUDSON, W. R. (1994). *Development of Project-Level Urban Roadway Management System*. Transportation Research Record 1455. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p. 62-68.
- CHEN, X.; WEISSMANN, J.; DOSSEY, T.; HUDSON, W.R. (1993). *URMS: Graphical Urban Roadway Management System at Network Level*. Transportation Research Record 1397. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.103-111.
- CLARKE, A. B.; DISNEY, R. L. (1979). *Probabilidade e Processos Estocásticos*. Trad. por Gildasio Amado Filho. Livros Técnicos e Científicos Editora. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS RODAGEM (1994). *Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos - Procedimento DNER-PRO 008/94*. Rio de Janeiro, RJ.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS RODAGEM (1994). *Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos - Procedimento DNER-PRO 007/94*. Rio de Janeiro, RJ.

- DOMINGUES, F. A. A. (1993). *MID - Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos*. São Paulo. LDTT/PTR/EPUSP.
- EVANS, L. D.; MOJAB, C. G.; PATEL, A. J.; ROMINE, A. R.; SMITH, K. L.; WILSON, T. P. (1993). *Innovative Materials Development and Testing*. vol. 2: Pothole Repair. SHRP-H-353. Washington, D.C.
- FEIGHAN, K. J.; SHAHIN, M. Y.; SINHA, K. C.; WHITE, T. D. (1989). *A Prioritization Scheme for the Micro PAVER Pavement Management System*. Transportation Research Record 1215. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.89-100.
- FEIGHAN, K. J.; SHAHIN, M. Y.; SINHA, K. C.; WHITE, T. D. (1988). *Application of Dynamic Programming and Other Mathematical Techniques to Pavement Management Systems*. Transportation Research Record 1200. Transportation Research Board. National Research Council. Washington, D.C., p.90-98.
- FERNANDES JR., J. L. (1996). *Sistemas de Gerência de Pavimentos*. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.
- FERNANDES JR., J. L.; HUDSON, W. R. (1994). *Summary of User Identified Pavement Management Research Needs and Priorities*. Transportation Research Board Annual Meeting. TRB. Pavement Management Systems Committee. Washington, D.C., jan.
- FERNANDO, E. G. (1982). *Review and Evaluation of Alternative Approaches to Formulating a Prioritization Index*. Technical Memorandum. Center for Transportation Research. The University of Texas at Austin, jan.
- FHWA (1989). *Road Surface Management for Local Governments*. Course Workbook. U. S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Austin, Texas, dec.
- FURTADO, N.; KAWAMOTO, E. (1997). *Avaliação de Projetos de Transportes*. São Carlos, EESC-USP.
- GOPAL, S.; MAJIDZADEH, K. (1991). *Application of Markov Decision Process to Level-of-Service-Based Maintenance Systems*. Transportation Research Record 1304. Transportation Research Board. National Research Council. Washington, D.C., p.12-18.

- HAAS, R.; HUDSON, W.R.; ZANIEWSKI, J. (1994). *Modern Pavement Management*. Krieger Publishing Co. Malamar, Florida.
- HARPER, W. V.; MAJIDZADEH, K (1991). *Use of Expert Opinion in Two Pavement Management Systems*. Transportation Research Record 1311. Transportation Research Board. National Research Council. Washington, D.C., p.242-247.
- INSTITUTO DO ASFALTO (1981). *A Pavement Rating System for Low-Volume Asphalt Roads*. IS-169.
- INSTITUTO DO ASFALTO (1989). *The Asphalt Handbook*. MS-4.
- JOHNSON, B. H.; DEMETSKY, M. J. (1994). *Geographic Information System Decision Support System for Pavement Management*. Transportation Research Record 1429. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.74-83.
- KHEDR, S. A.; EL DIMEERY, I. A. (1994). *Pavement Management System for Provinces in Developing Countries: Implementation in Fayoum, Egypt*. Transportation Research Record 1455. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.101-110.
- MAPC (1986). *Pavement Management - A Manual for Communities*. U. S. Department of Transportation. Metropolitan Area Planning Council, Boston, MA.
- MELO, J. R.; BEZERRA, J. F. P.; FABRICIO, J. V. F.; FABRICIO, J. M. (1993). *Experiência de Pavimentação Urbana no Município de São Gonçalo/RJ*. Anais da 4ª Reunião de Pavimentação Urbana. ABPv, Maceió. p.315-337.
- MOTTA, L. M. G. (1995). *Considerações a Respeito de Pavimentos e Tráfego nas Vias Urbanas*. Anais da 6ª Reunião de Pavimentação Urbana. ABPv, Santos. p.26-51.
- NEVES, M. A.; BELO, M. L. F.; SOUZA, F. S. V.; BARROS, R. M. V. (1995). *Projetos de Reabilitação de Pavimentos de Belo Horizonte*. Anais da 6ª Reunião de Pavimentação Urbana. ABPv, Santos. p.140-164.
- OSMAN, O.; HAYASHI, Y. (1994). *Geographic Information Systems as Platform for Highway Pavement Management Systems*. Transportation Research Record 1442. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.19-30.

- PEREIRA, A. M. (1972). *Um Método Expedito de Avaliação de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos*. II Reunião das Organizações Rodoviárias e International Road Federation. Brasília, DF.
- PEREIRA, A. M. (1976). *Um Método Expedito de Avaliação de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos*. Publicação 607, IPR. Rio de Janeiro.
- ROBERTS, F.L.; KANDHAL, P.S.; BROWN, E.R.; LEE, D.Y.; KENNEDY, T.W. (1991). *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction*. NAPA Education Foundation, Lanhan, Maryland.
- SAITO, M.; SINHA, K. C. (1991). *Delphi Study on Bridge Condition Rating and Effects of Improvements*. Journal of Transportation Engineering. vol. 117, n.3, p.320-334.
- SCHERER, W. T.; GLAGOLA, D. M. (1994). *Markovian Models for Bridge Maintenance Management*. Journal of Transportation Engineering. vol. 120, n.1, p.37-51.
- SHAHIN, M. Y; KOHN, S. D. (1979). *Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets, and Parking Lots*. Vol. I: Condition Rating Procedure. U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory. Technical Report M-268, july.
- SHRP (1993a). *Asphalt Pavement Repair Manuals of Practice*. The Strategic Highway Research Program. National Academy of Science. SHRP-H-348. Washington, D.C.
- SHRP (1993b). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies*. The Strategic Highway Research Program. National Academy of Science. Washington, D.C.
- SILVA, A. N. R.; LIMA, R. S.; RAIA JR., A. A. (1995). *Utilizando um Sistema de Informação Geográfica para Estimar Viagens em uma Cidade de Porte Médio*. Anais do Congresso Nacional da ANPET, 9, São Carlos. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, vol.3, p.1173-1183, nov.
- SILVA, A. N. R.; LOTTI, C. P.; MARGARIDO, S. A.; PAMPOLHA, V. M. P. (1996). *Quem não tem TIGER...* Revista FATOR GIS, Ano 4, nº 14, p.18-19, jun/jul.

- SILVA, A. N. R.; MOTTA, S. H. S. (1995). *Avaliação do Desempenho de um Sistema de Transporte Público Urbano com o auxílio de um software para Sistemas de Informação Geográfica*. Anais do Congresso Nacional da ANPET, 9, São Carlos. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, vol.3, p.1154-1160, nov.
- SILVA, R. P.; GONÇALVES, A. L.; APS, M. (1995). *Manutenção de Vias Públicas Urbanas em Santos - SP: Prioridade e Tecnologia*. Anais da 29ª Reunião Anual de Pavimentação. ABPv, Cuiabá. vol.4, p.272-289.
- SIMKOWITZ, H. J. (1990). *Using Geographic Information System Technology to Enhance the Pavement Management Process*. Transportation Research Record 1261. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.10-19.
- SMITH, R. E.; SHAHIN, M. Y.; DARTER, M. I.; CARPENTER, S. H. (1987a). *A Comprehensive Ranking System for Local Agency Pavement Management*. Transportation Research Record 1123. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.67-76.
- SMITH, R. E.; DARTER, M. I.; HALL, K. T.; RAUHUT, J. B. (1987b). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies*. Federal Highway Administration. DTFH61-85-C-0095.
- TAVAKOLI, A.; LAPIN, M. S.; FIGUEROA, J. L. (1992). *PMSC: Pavement Management System for Small Communities*. Journal of Transportation Engineering. vol.118, n.2, p.270-280.
- VILLIBOR, D. F.; FORTES, F. Q.; FERNANDES, S. B. (1993). *Recuperação de Pavimentos Flexíveis em Vias Urbanas*. Anais da 4ª Reunião de Pavimentação Urbana. ABPv, Maceió. p.437-476.
- VIVIANI, E.; SÓRIA, M. H. A. (1995). *Aplicação de um SIG no Desenvolvimento de Sistema de Gerência de Vias Não-Pavimentadas*. Anais do Congresso Nacional da ANPET, 9, São Carlos. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, vol.3, p.1148-1153, nov.
- WANG, K. C. P.; ZANIEWSKI, J.; WAY, G. (1994). *Probabilistic Behavior of Pavements*. Journal of Transportation Engineering. vol.120, n.3, p.358-375.

WISCONSIN DOT (1990). *Pavement Management Decision Support Using a Geographic Information System*. Wisconsin Department of Transportation. Madison, Wisconsin.

ZHANG, Z.; DOSSEY, T.; WEISSMANN, J.; HUDSON, W. R. (1994). *GIS Integrated Pavement and Infrastructure Management in Urban Areas*. Transportation Research Record 1429. TRB. National Research Council. Washington, D.C., p.84-89.

ZHANG, Z.; SINGH, N.; HUDSON, W. R. (1993). *Comprehensive Ranking Index for Flexible Pavements Using Fuzzy Sets Model*. Transportation Research Record 1397. Transportation Research Board. National Research Council. Washington, DC. p.96-102.

ANEXO A

QUESTIONÁRIO ENVIADO À

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS

QUESTIONÁRIO PARA OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES TÉCNICAS

- Qual a extensão da malha viária da cidade de São Carlos?

Pavimentada: _____ m²

Não Pavimentada: _____ m²

Situação atual de informações sobre a Rede Viária:

- Existem mapas atualizados?
  - Existe banco de dados com registros históricos (ano de construção dos pavimentos, dimensões e tipologias, histórico de intervenções e custos) e informações sobre hierarquia viária, trajeto de linhas de ônibus e contagem de tráfego?
-
- Como é feito o levantamento da condição dos pavimentos?
    - através de vistorias periódicas? Nas ruas principais ou em toda a rede viária?
    - através de reclamações dos moradores?
    - outro modo? Como?
  - Quais os defeitos mais frequentes identificados pela equipe de manutenção?
-
- Como são selecionadas as ruas para manutenção e reabilitação dos pavimentos?
    - primeiro as ruas com maior volume de tráfego?
    - primeiro as ruas em pior condição?
    - seleção baseada na experiência dos funcionários?
    - outro modo? Como?
  - Quais as atividades de manutenção e reabilitação realizadas pela prefeitura?
  - Quais os equipamentos e máquinas utilizadas?
-
- Como está estruturado o departamento responsável pela manutenção da rede viária pavimentada (número de funcionários e grau de especialização)?
  - Existe trabalho integrado entre a prefeitura e as concessionárias de serviços públicos (em particular, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE, responsável pelo grande número de remendos existentes na cidade)? Como é feita a fiscalização, por parte da prefeitura, desses serviços?

- Em que ano foram construídas os trechos/ruas abaixo? Em que ano ocorreram as últimas intervenções (recapeamento, tapa-buracos, etc.) nos trechos abaixo?

SEÇÃO	REFERÊNCIA
1	R. Conselheiro João Alfredo, entre R. Paulino B. A. Sampaio e R. Victor M. Souza Lima
2	R. Paulino B. A. Sampaio, entre Av. Miguel Petroni e R. Prof ^a . Alice J. D'anna Juliano
3	Av. Marginal entre EESC-USP e R. Carlos de Camargo Salles
4	R. Luiz Vaz Toledo Pizza entre R. Miguel Alves Margarido e Al. Crisandálias
5	R. Luiz Vaz Toledo Pizza entre R. Miguel Alves Margarido e Av. Marginal
6	Al. Crisântemos entre R. Aldino Del Nero e Av. Marginal
7	Rua Miguel Petroni
8	R. João de Guzzi entre R. Luiz P. de Araújo Ferraz e Rotatória
9	R. Antônio Blanco entre R. Emílio Moro e R. São Joaquim
10	R. Antônio Blanco entre R. São Joaquim e R. D. Alexandrina
11	R. Prof. José F. Camargo entre R. Sérgio F. Paranhos Fleury e R. Rotary Club
12	Av. São Carlos entre R. 28 de Setembro e Av. Dr. Carlos Botelho
13	Av. XV de Novembro entre R. Episcopal e R. 9 de Julho

ANEXO B

MAPEAMENTO DOS DEFEITOS NAS SEÇÕES DO ESTUDO PILOTO

SIMBOLOGIA

<u>TIPO DE DEFEITO</u>	<u>SÍMBOLO</u>	<u>TIPO DE DEFEITO</u>	<u>SÍMBOLO</u>
1. Trincas po Fadiga B, M, A*		8. Pannels B, M, A*	
2. Trincas em Blocos B, M, A* S: Selada		10. Corrugação	
3. Trincas Laterais B, M, A*		11. Exsudação B, M, A*	
4. Trincas Longitudinais B, M, A* S: Selada		12. Agregados Polidos	
5. Trincas por Reflexão B, M, A*		13. Desgaste B, M, A*	
6. Trincas Transversais B, M, A* S: Selada		15. Bombeamento	
7. Remendos B, M, A*		9. Deformação Permanente nas Trilhas de Roda **	
		10. Desnível Pista/Acostamento **	
* Níveis de severidade Baixa, Média e Alta. ** Não indicados no mapeamento dos defeitos.			

SEÇÃO: 1

Comentários:

SEÇÃO: 1

Comentários:

SEÇÃO: 1

Comentários:

SEÇÃO: 1

Comentários:

SEÇÃO: 2

Comentários: ACENTUADA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL.

SEÇÃO: 2

Comentários:

SEÇÃO: 2

Comentários:

SEÇÃO: 3

Comentários: IRREGULARIDADE LONGITUDINAL EM TODO O TRECHO.
DEFORMAÇÃO PERMANENTE NAS TRILHAS DE RODA.

SEÇÃO: 3

Comentários:

SEÇÃO: 3

Comentários:

SEÇÃO: 3

Comentários:

SEÇÃO: 3

Comentários:

SEÇÃO: 3

Comentários:

SEÇÃO: 3

Comentários:

SEÇÃO: 3

Comentários:

SEÇÃO: 4

Comentários:

SEÇÃO: 4

Comentários:

SEÇÃO: 4

Comentários:

SEÇÃO: 5

Comentários:

SEÇÃO: 5

LANÇAMENTO DE MASSA ASFÁLTICA SOBRE
ÁREA EXTREMAMENTE DETERIORADA (TRINCAS E DESGASTE)

Comentários:

SEÇÃO: 6

Comentários:

SEÇÃO: 6

Comentários:

SEÇÃO: 6

Comentários:

SEÇÃO: 7

Detalhe:

TRECHOS SEM TRINCAS POR FADIGA: FAIXA DIREITA - TRECHOS 54 ao 63; 72 ao 100; 102 ao 105.
FAIXA ESQUERDA - TRECHOS 44 ao 49; 52 ao 105.

Comentários: DESGASTE EM TODO O TRECHO - FAIXA CENTRAL (13B).

ALGUMAS TRINCAS EM BLOCOS POR REFLEXÃO DE TRINCAS
NA BASE DE SOLO ARENOSO FINO LATERÍTICO-BRITA.

SEÇÃO: 8

Comentários: TRECHO COM ACENTUADA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL.
SUBLEITO COM BAIXA CAPACIDADE DE SUPORTE.

SEÇÃO: 8

SEÇÃO: 8

Comentários:

SEÇÃO: 8

Comentários:

SEÇÃO: 8

Comentários: NÃO OCORRÊNCIA DE DEFEITOS NO TRECHO: 150-152 m.

SEÇÃO: 9

Comentários: RECAPEAMENTO COM CONCRETO ASFÁLTICO.

NÃO OCORRÊNCIA DE DEFEITOS NOS TRECHOS: 15-30 m / 45-51 m.

SEÇÃO: 10

Comentários: BASE DE PARALELEPÍPEDO.

NÃO OCORRÊNCIA DE DEFEITOS NOS TRECHOS: 30-45 m / 60-75 m.

SEÇÃO: 10

Comentários: NÃO OCORRÊNCIA DE DEFEITOS NOS TRECHOS: 30-45 m / 60-75 m.

SEÇÃO: 11

Comentários:

SEÇÃO: 11

Comentários:

SEÇÃO: 11

Comentários:

SEÇÃO: 11

Comentários: NÃO OCORRÊNCIA DE DEFEITOS NO TRECHO: 120-129 m.

SEÇÃO: 12

Comentários: DESGASTE NAS LATERAIS (13B).

EXSUDAÇÃO EM TODA A FAIXA CENTRAL (11B).

SEÇÃO: 12

Comentários:

SEÇÃO: 13

Comentários:

SEÇÃO: 13

Comentários:

SEÇÃO: 13

Comentários:

ANEXO C

**FOTOS DOS DEFEITOS IDENTIFICADOS
NAS SEÇÕES ANALISADAS NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS**

Foto 1 - Seção 1: detalhe de desgaste com severidade média (13M).

Foto 2 - Seção 1 - vista geral de desgaste com severidade média (13M).

Foto 3 - Seção 2: detalhe de trinca por fadiga do revestimento (1M).

Foto 4 - Seção 2: vista geral de trinca por fadiga e remendo (7M).

Foto 5 - Seção 3: detalhe de trinca por fadiga com severidade alta (1A).

Foto 6 - Seção 3: vista geral de trinca por fadiga do revestimento (1A).

Foto 7 - Seção 4: detalhe de trinca por fadiga e início de panela (1A).

Foto 8 - Seção 4: vista geral de trinca por fadiga do revestimento (1A).

Foto 9 - Seção 5: detalhe de trinca por fadiga do revestimento (1A).

Foto 10 - Seção 5: vista geral da deterioração em toda a faixa (1A, 13B)

Foto 11 - Seção 6: detalhe de remendo com severidade alta (7A).

Foto 12 - Seção 6: vista geral de remendo e trincas por fadiga (7A, 1M).

Foto 13 - Seção 7: detalhe trinca por fadiga, severidade baixa (1B).

Foto 14 - Seção 7: vista geral de trinca por fadiga do revestimento (1B).

Foto 15 - Seção 8: detalhe de panela com severidade alta (8A).

Foto 16 - Seção 8: vista geral de área com painéis, severidade alta (8A).

Foto 17 - Seção 9: remendo com severidade média (7M).

Foto 18 - Seção 10: detalhe de panela com severidade alta (8A).

Foto 19 - Seção 10: vista geral de panela e remendo (8A, 7B).

Foto 20 - Seção 11: vista geral de remendo com severidade média (7M).

Foto 21 - Seção 12: vista geral de corrugação e exsudação (10M, 11B).

Foto 22 - Seção 12: detalhe de corrugação e exsudação (10M, 11B).

Foto 23 - Seção 13: detalhe de trinca por fadiga, severidade alta (1A).

Foto 24 - Seção 13: vista geral de remendo, severidade baixa (7B).